ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME IX JUILLET 1950 NUMÉRO 35

René Descartes (1596–1650)

L'influence réciproque des théories et des découvertes françaises et anglaises et son rôle dans le développement de la science moderne appartiennent à l'histoire. L'année en cours, celle du tricentenaire de la mort de Descartes, évoque le souvenir d'un des initiateurs de la science moderne qui, après avoir beaucoup admiré les savants britanniques de son temps, eut lui-même une influence considérable sur leurs successeurs.

Les œuvres principales de Descartes sont «Le Discours de la Méthode» (1637) qui contient sa «Géométrie», le point de départ de la géométrie analytique; «*Meditationes de Prima Philosophia*» (1641) et «*Principia Philosophiæ*» (1644).

Descartes, bien qu'il eût lu et apprécié le «*Novum Organum*» de Bacon, croyait, à l'encontre de celui-ci, que la science devait progresser par déduction plutôt que par induction, et par déduction en partant seulement de ce qui pouvait être tenu pour vrai parce qu'indubitable; c'est la thèse que résume l'aphorisme célèbre *cogito, ergo sum*, mais que *dubito, ergo sum* exprimerait avec plus de justesse. Il s'éloigne en outre de Bacon par sa conviction que les mathématiques servent puissamment à l'avancement des sciences et aussi par la haute opinion qu'il avait du «*De Magnete*» (1600) de Gilbert; lui-même d'ailleurs formula une théorie scientifique du magnétisme. Il tenait également en haute estime le «*De Motu Cordis*» (1628) de Harvey.

En jetant les bases de la géométrie analytique, en rejetant toute explication qui comporte un élément d'occultisme, en faisant dépendre toute étude de physique de la mécanique et en considérant les animaux comme des «machines», il se classe nettement parmi les modernes; de même que par ses travaux sur le mouvement, la réfraction et l'arc-en-ciel. Il fit sortir la science de la voie qu'avait tracée Aristote, et son système ne céda la place qu'à celui de Newton.

D'après Descartes, la matière est continue et le monde un «plein», contrairement à ce qu'en pensaient les adeptes d'une forme nouvelle de l'atomisme grec, selon lesquels le monde était fait d'atomes et de vide. Dans sa théorie des tourbillons, c'est le mouvement tourbillonnaire d'une substance remplissant l'espace qui fait qu'une planète se meut dans son orbite.

Les deux hypothèses, celle de la matière continue mais corpusculaire qui remplit l'espace, et celle d'un univers de tourbillons, firent forte impression sur les savants britanniques de la génération suivante. Walter Charleton, pour qui Descartes est «un esprit d'une pénétration transcendante» révèle l'influence cartésienne dans sa «Physiologie» (1654), le premier ouvrage britannique sur l'atomisme, quand il écrit que «l'opinion de l'excellent M. Des Cartes (sur la vision) . . . s'est imposée avec une sorte de violence agréable à la majorité des contemporains qui étudient la physique et surtout à ceux qui ont tendance à appliquer les règles de la mécanique aux opérations perceptibles de la nature, à tel point que toute autre leur fait horreur».

Boyle avait grand respect pour le «génial», «l'excellent» Descartes «que je ne suis guère disposé à contredire». Pour lui les corpuscules de Descartes valent les atomes de Démocrite, bien qu'il en vînt plus tard à préférer ces derniers. Dans ses «Origines des Formes et Qualités» (1666) auquel le public fit bon accueil, Boyle, partiellement influencé par Descartes, défend un système philosophique basé sur les corpuscules en donnant une explication entièrement mécanique des propriétés des substances.

Hooke, bien au courant des écrits de Descartes, dont il avait même, selon Newton, emprunté sa théorie des couleurs, parle souvent de Descartes dans sa «*Micrographia*» (1665), et il écrit dans «*Lampas*» (1677) «Bien que je doive admettre qu'à

mon avis la gravitation n'agit pas comme le suppose Descartes, je trouve toutefois ses hypothèses si rationnelles et si ingénieuses, et tellement supérieures aux objections qu'on y a faites, aussi bien qu'aux autres théories dont j'ai eu connaissance, qu'elles ne méritent pas qu'on les traite de *fœda deliria* comme le fait le savant Docteur (Henry More)». More était le platonicien de Cambridge qui mettait la science contemporaine en demeure de défendre le christianisme contre le scepticisme. Plus tard dans son «*Enchiridion Metaphysicum*» (1671) il dénonça le cartésianisme qu'il était arrivé à considérer, à l'instar de Cudworth et des autres platoniciens, comme pur athéisme, bien que le système fût fondé sur l'existence de Dieu. Les critiques de More, venant après la publication de l'«Origine des Formes» affecta Boyle profondément car celui-ci avait souvent insisté sur la base du cartésianisme. En définitive une lettre de More à Boyle expliquant, d'une manière assez peu satisfaisante d'ailleurs, qu'il en avait seulement contre les aspects matérialistes du système, semble avoir évité une rupture entre les deux amis.

Il est certain que Newton lut en 1664 la «Géométrie» de Descartes, et en 1665 imagina sa «méthode des fluxions», ce qui a porté à croire qu'il s'était inspiré dans une certaine mesure des idées trouvées dans la «Géométrie» pour inventer le calcul différentiel.

Newton consacre la majeure partie du 2e livre de ses «Principes» à la réfutation du système des tourbillons de Descartes, lequel, vu les progrès de la science, avait supplanté l'univers d'Aristote. Dans sa proposition LII il démontre que dans un tourbillon il faut que le temps périodique de chacun des éléments soit en raison directe du carré de sa distance du centre, tandis que d'après la 3e loi de Képler le carré du temps périodique d'une planète est en raison directe du cube de sa distance du soleil. Pourtant, même après la publication des «Principes» en 1687, le système cartésien se maintint dans beaucoup de milieux, vraisemblablement parce que la théorie des tourbillons faisait tourner les planètes par le contact d'un fluide subtil toujours en mouvement qui remplit l'espace, tandis que le système de Newton comportait cet incompréhensible «action à distance».

En 1713, vingt-six ans après la première, paraît la deuxième édition des «Principes». Le principal souci de Roger Cotes qui en écrivit la préface bien connue, fut encore de réfuter la théorie des tourbillons, laquelle devait sa vogue persistante non seulement à la difficulté précitée du système de Newton, mais aussi à la popularité d'un remarquable manuel de physique, le «Traité de Physique» de Jacques Rohault, fondé sur le système de Descartes et paru en 1671. Il fut traduit en latin, d'abord à Genève en 1674 puis à Londres en 1682. Il y eut ensuite plusieurs éditions françaises, et avant la publication des «Principes» en 1687, le «Traité», le plus apprécié des manuels de physique, s'était fermement établi dans les universités anglaises. Plus tard on le voit encore en honneur même à Cambridge, où professait Newton, bien que David Gregory eût enseigné le système newtonien à Edimbourg avant de se rendre à Oxford en 1690. A Oxford en 1693 on appelait encore le cartésianisme «la philosophie nouvelle» par opposition à celle d'Aristote. Toutefois, quand Samuel Clark fit paraître une nouvelle traduction latine du «Traité» (1697), il fut contraint, en raison des critiques de Whiston, d'ajouter aux éditions suivantes des notes sur l'œuvre de Newton, et celles-ci, réfutant le texte, firent dire à Playfair que «la philosophie newtonienne s'était introduite à l'université de Cambridge sous l'aile du cartésianisme». Il parut aussi des versions anglaises du «Traité» en 1723, 1728–9, et la dernière en 1735, près d'un demi-siècle après la publication des «Principes».

Ce n'est que vers le milieu du 18e siècle que le système newtonien remplaça définitivement celui de Descartes. Le cartésianisme, malgré l'échec de sa cosmographie, se maintint dans d'autres domaines jusqu'à la fin du 19e siècle. D'ailleurs, même de nos jours il fait autorité, car il présuppose l'existence d'un univers objectif et matériel dont il incombe à la science d'expliquer le mécanisme.

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W. 1.
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W. 1.

Qu'est-ce qu'une particule élémentaire?

E. SCHRÖDINGER

Revue critique des idées modernes sur les caractéristiques des ondes et des particules considérées comme deux aspects différents du même phénomène. On y étudie le principe d'incertitude, selon lequel les coordonnées et leurs dérivées premières par rapport au temps ne peuvent être connues exactement en même temps. La formulation de l'équation ondulatoire est mentionnée. Les statistiques Bose-Einstein et Fermi-Dirac sont expliquées et illustrées par des exemples simples. Leur application entraîne la perte d'individualité d'une particule, idée centrale de l'article.

1. UNE PARTICULE N'EST PAS UN INDIVIDU

L'atomisme sous sa forme la plus récente s'appelle mécanique des quanta. Son domaine inclut, outre la matière ordinaire, toutes les radiations, dont la lumière, c'est-à-dire toutes les formes d'énergie, y compris la matière ordinaire. Dans l'état actuel de la théorie les «atomes» sont des électrons, des protons, des photons, des mésons, etc., groupés sous le nom générique de particule élémentaire, ou simplement particule. Le terme d'atome est réservé à la chimie, bien qu'impropre.

Le sujet de cet essai est la particule élémentaire sous un aspect qui lui a été donné ou plutôt enlevé par la mécanique des quanta. Une particule n'est pas un individu; on ne peut l'identifier; elle ne possède pas d'«identité». C'est un fait connu de tous les physiciens, mais auquel on donne rarement son importance dans les aperçus à la portée des non-spécialistes. En termes techniques, ce fait s'exprime en disant que la particule obéit à une statistique nouvelle, soit celle de Einstein-Bose, soit celle de Fermi-Dirac. Ceci implique que le démonstratif peu compromettant «ce» ne peut se rapporter tout-à-fait à propos à un électron, par exemple, sinon avec précaution et dans un sens restreint, et quelquefois pas du tout.

2. CONCEPTIONS COURANTES: ONDES ET PARTICULES SE CONFONDENT

Notre représentation du monde matériel comprenait deux entitées: ondes et particules. Les premières se composaient principalement, sinon exclusivement, des ondes électro-magnétiques de Maxwell: radio, lumière, rayons X, rayons gamma. Les corps matériels étaient considérés comme formés de particules. On était familier aussi avec les jets de particules, nommés rayons corpusculaires, rayons cathodiques, rayons béta, rayons alpha, rayons anodiques, etc. Les particules émettaient et absorbaient des ondes. Ainsi, les rayons cathodiques (électrons), ralentis par choc contre les atomes, émettent des rayons X. La distinction entre ondes et particules était cependant aussi nette qu'entre le violon et le son qu'il émet. Un candidat qui eût prétendu que les rayons cathodiques étaient des ondes, ou les rayons X des jets de particules, aurait reçu de très mauvaises notes.

Dans la nouvelle perspective, cette distinction a disparu car on a trouvé que toutes les particules avaient des propriétés des ondes et vice-versa. Aucun des deux concepts n'est à rejeter; il faut les fusionner. Ce n'est pas de l'objet physique mais du montage expérimental destiné à son examen, que dépend l'aspect qui s'impose. Par exemple, un jet de rayons cathodiques produit dans la chambre à détente de Wilson, des traces ténues de gouttelettes — traces incurvées s'il se trouve un champ magnétique pour faire dévier les électrons, sinon alignements rectilignes. On ne peut les interpréter que comme la trace du trajet d'un seul électron. Cependant, ce même jet, après avoir traversé un tube étroit placé perpendiculairement contenant une poudre cristalline, formera sur une plaque photographique placée un peu plus loin que le tube, une figure de cercles concentriques. Cette figure ne s'explique dans tous ses détails que si on la considère comme un diagramme interférentiel. Elle ressemble en effet étroitement à une figure de rayons X obtenue de la même façon.

Il s'élève un doute: les jets coniques qui frappent la plaque photographique et donnent le diagramme de cercles sont-ils vraiment des rayons cathodiques; ou bien ne sont-ils pas des rayons X secondaires? Cette alternative est à rejeter car on peut déplacer le système de cercles tout entier par un aimant, ce qui est impossible avec les rayons X; de plus, en plaçant un écran de plomb percé d'un petit trou à la place de la plaque photographique, on peut isoler un petit jet de l'un des faisceaux coniques et mettre en évidence

n'importe quelle caractéristique des rayons cathodiques: il peut produire les traces ténues dans la chambre de Wilson; causer de légères décharges dans un compteur de Geiger-Müller; et charger une cage de Faraday où on l'intercepte.

Une quantité considérable de preuves expérimentales confirme inéluctablement que les caractéristiques des ondes et celles des particules ne se rencontrent jamais séparément, mais toujours en union; elles sont des aspects différents du même phénomène et d'ailleurs de tous les phénomènes physiques. Ce n'est pas une union lâche ou superficielle. Il serait très imparfait de considérer les rayons cathodiques comme étant formés d'un mélange d'ondes et de particules. Au début de la nouvelle théorie on suggéra que les particules étaient peut-être des «points singuliers» au sens mathématique. Les crêtes blanches d'une mer un peu moutonneuse seraient une assez bonne comparaison. On abandonna vite cette idée. Il semble qu'il faille modifier considérablement les deux concepts, d'ondes et de particules, pour atteindre une fusion authentique.

3. CONCEPTIONS COURANTES: LA NATURE DES ONDES

On ne doit pas, nous dit-on, considérer les ondes, comme étant véritablement des ondes. Il est vrai qu'elles produisent des figures d'interférence — épreuve cruciale qui, dans le cas de la lumière, avait fait écarter tout doute quant à la réalité des ondes. Cependant, on nous dit à présent que toutes les ondes, y compris la lumière, devraient être considérées plutôt comme des «ondes de probabilité». Elles ne sont qu'un expédient mathématique permettant d'évaluer la probabilité de trouver une particule dans certaines conditions, ainsi (dans l'exemple ci-dessus), la probabilité qu'il y aurait pour un électron de frapper la plaque photographique à l'intérieur d'un endroit spécifié. Son action sur un grain de bromure d'argent permet de l'enregistrer. Il faut considérer le diagramme d'interférence comme l'enregistrement statistique des électrons frappeurs. Dans ce texte, les ondes sont parfois désignées comme les ondes-guides, dirigeant les particules sur leur trajet. Cette direction ne peut être prise littéralement; elle ne constitue qu'une «probabilité». La figure au dessin précis est un résultat statistique, qui doit sa précision au nombre infini de particules.

A ce propos, je ne peux m'empêcher de mentionner une objection trop évidente pour ne pas venir à l'esprit du lecteur. Une chose qui influence le comportement physique d'une autre chose ne doit en aucun cas être qualifiée de moins réelle que ce qu'elle influence, quelque signification que l'on donne à la dangereuse épithète: «réel». Il est sans doute utile de rappeler de temps en temps que tous les modèles, toutes les images quantitatives conçues par le physicien ne sont que des expédients mathématiques permettant de chiffrer des évènements observables, mais je ne vois pas que cela s'applique plus aux ondes lumineuses, par exemple, qu'aux molécules d'oxygène ou autre.

4. CONCEPTIONS COURANTES: NATURE DES PARTICULES (LA RELATION D'INCERTITUDE)

La plus importante des corrections apportées au concept de particule est la relation d'incertitude de Heisenberg. La mécanique dite classique était axée sur la découverte de Galilée et Newton que l'élément qui, dans un corps en mouvement, est déterminé à chaque instant par les corps avoisinants n'est autre que son accélération ou, en termes mathématiques, les dérivées secondes par rapport au temps, des coordonnées. Les dérivées premières, appelées communément vitesse, doivent donc entrer dans la description de l'état du corps à un moment donné, en même temps que les coordonnées elles-mêmes, définissant sa position dans l'espace à un moment donné. Ainsi pour décrire l'état instantané d'une particule deux données indépendantes étaient nécessaires: ses coordonnées et leurs dérivées premières par rapport au temps, ou encore sa position et sa vitesse. Suivant la nouvelle théorie il en faut moins mais les résultats sont moindres. On peut déterminer l'une ou l'autre des deux données avec une précision arbitraire à condition de ne pas compter sur l'autre, mais on ne peut les connaître ensemble avec une rigoureuse précision. On ne peut même pas leur supposer simultanément des valeurs absolument précises. Elles se faussent en quelque sorte l'une l'autre. On peut dire, en gros, que le produit des erreurs absolues respectives correspondantes ne peut descendre au-dessous d'une constante définie. Pour un électron cette constante se trouve être 1 si l'on prend pour unités le centimètre et la seconde. Si donc on considère la vitesse d'un électron, comme connue à 1 cm/sec près, il faut considérer sa position comme entachée d'une erreur possible de 1 cm.

La bizarrerie de la chose ne réside pas dans l'existence de ces inexactitudes, car la particule pourrait occuper une étendue imprécise et variable à l'intérieur de laquelle des vitesses légèrement différentes pourraient exister en différents points.

Alors, tout au moins, l'exactitude de localisation entraînerait une définition exacte de la vitesse et vice-versa. En réalité, c'est exactement le contraire qui se passe.

5. CONCEPTIONS COURANTES: SIGNIFICATION DE LA RELATION D'INCERTITUDE

Il existe deux liens entre cet énoncé curieux et sans aucun doute fondamental, et d'autres parties de la théorie. On peut y arriver en déclarant qu'une particule est équivalente à son onde-guide, et n'a pas d'autres caractéristiques que celles qu'indique l'onde-guide suivant certaines conventions. Celles-ci sont assez simples. La position est indiquée par l'étendue de l'onde, la vitesse par les valeurs possibles des nombres d'onde; «nombre d'onde» est l'abrégé pour l'inverse de la longueur d'onde. A chaque nombre d'onde, on peut faire correspondre une certaine vitesse qui lui est proportionnelle. Telles sont les conventions. C'est un truisme mathématique que plus un train d'ondes est limité dans l'espace, plus il faut d'ondes monochromatiques pour le représenter.

On peut, d'autre part, examiner la méthode expérimentale destinée à déterminer soit la position, soit la vitesse. Tout montage suppose un transfert d'énergie entre la particule et un instrument de mesure, éventuellement l'observateur qui doit faire une lecture. Cela implique une relation physique réelle avec la particule. On ne peut réduire arbitrairement la perturbation parce que l'énergie ne s'échange pas continûment mais par portions.

Nous trouvons qu'en mesurant l'un des deux éléments position ou vitesse, plus grande est la précision recherchée pour l'un, plus violemment on interfère avec l'autre. On entache la valeur de l'un d'une erreur inversement proportionnelle à celle que l'on s'autorise pour l'autre.

Dans les deux explications, les termes employés semblent suggérer que l'incertitude ou le manque de précision a trait à ce que l'on peut connaître d'une particule plutôt qu'à sa nature. En effet, dire que l'on perturbe ou change une grandeur physique mesurable, implique logiquement qu'elle possède certaines valeurs avant et après l'intervention, que nous en ayons ou non connaissance. Ou encore dans la première interprétation, si l'on parle d'onde-guide, comment guiderait-elle la particule sur son trajet, si celle-ci n'a point de trajet ? Dire que l'onde indique la probabilité de trouver la particule en A, B ou C . . . semble supposer que la particule se trouve en un seul de ces points; de même pour la vitesse.

En réalité, l'onde-guide fait intervenir à la fois les deux probabilités, l'une par son étendue, l'autre par ses nombres d'onde. Cependant, l'opinion courante n'admet ni la position ni la vitesse comme des réalités objectives permanentes. Cela souligne l'importance du mot «trouver». Que l'on trouve la particule au point A n'implique pas qu'elle y a déjà été. Il nous faut comprendre que nos méthodes de mesure l'y ont amenée ou l'ont concentrée en ce point, et qu'en même temps nous avons perturbé sa vitesse. Ce qui n'implique pas que la vitesse avait vraiment une valeur. Nous n'avons fait que perturber ou changer la probabilité de trouver telle ou telle valeur pour la vitesse si nous la mesurons. Les notions qu'impliquent les expressions «occuper une position» ou «avoir une vitesse» sont des concepts erronés, conséquences fâcheuses du langage. On invoque alors la philosophie positiviste, qui nous dit que nous ne devons pas établir de distinction entre notre connaissance d'un objet physique et son état réel. Les deux font un.

6. CRITIQUE DE LA RELATION D'INCERTITUDE

Je ne discuterai pas ici ce principe de la philosophie positiviste. J'admets parfaitement que la relation d'incertitude n'a rien à voir avec la connaissance incomplète. Il restreint ce que nous pouvons savoir sur une particule, par rapport aux idées antérieures. Ce qu'il faut conclure, c'est que ces idées étaient fausses, et qu'il faut les rejeter. Nous ne devons pas croire que cette description plus complète du monde physique réel qu'elles exigent est concevable, bien qu'irréalisable dans la pratique. Cela serait s'accrocher aux vieilles idées. Cependant, il n'est pas pour autant nécessaire de cesser de parler et de penser en termes de phénomènes réels dans l'univers physique. C'est devenu une habitude, que de le représenter comme une réalité. Dans la vie quotidienne, nous suivons cette habitude, tous, même ceux des philosophes qui l'ont contestée sur le plan théorique, comme Berkeley. Ce genre de controverse théorique est d'un ordre différent. Elle n'a rien à voir avec la physique. Celle-ci part de l'expérience quotidienne, qu'elle prolonge par des procédés plus subtils. Elle reste sa parente, ne peut la transcender, et demeure incapable de pénétrer dans un autre royaume. Ce ne sont pas des découvertes de physique, qui peuvent, du moins à mon avis, mettre un terme à cette habitude de décrire le monde physique comme une réalité.

Voici la situation, à mon avis. De la théorie précédente, nous avons retenu l'idée de particule,

et le langage technique correspondant. C'est une idée insuffisante. Elle pousse toujours notre esprit à rechercher des choses qui n'ont manifestement pas de signification. Sa structure conçue par l'imagination comporte des caractéristiques étrangères à la particule réelle. Un tableau convenable ne doit pas nous troubler avec ce besoin tourmentant; il ne doit pas pouvoir représenter plus qu'il n'existe en réalité; il doit refuser toute addition supplémentaire. Bien des gens, semble-t-il, pensent qu'une telle description est introuvable. Bien sûr, on peut souligner ce point manifeste — auquel, hélas, cet article ne changera rien — qu'on n'en a trouvé aucune. Cependant, je peux en imaginer des raisons, outre la difficulté fondamentalement inhérente au problème. Le remède, tiré de la philosophie positiviste, et qui cherche à être une porte de sortie raisonnable, fut administré assez tôt, et avec autorité. Il sembla nous guérir de la recherche de ce que j'appellerais l'entendement du réel; il rendit même la tentative suspecte comme dénotant une absence d'esprit philosophique, la mentalité d'un enfant qui regretterait le joujou favori qu'il a perdu (l'image ou le modèle) et ne voudrait pas croire qu'il est parti pour toujours. En second lieu, je suggère que la difficulté peut avoir un rapport très étroit avec le sujet du présent article que je vais aborder sans plus tarder. La relation d'incertitude s'applique à la particule. Celle-ci, nous le verrons, ne peut s'identifier comme individu. Il est en effet très possible qu'on ne puisse concevoir aucune entité individuelle qui réponde aux nécessités de la représentation fidèle définie ci-dessus.

Il n'est pas facile de se représenter cette absence d'individualité et de la définir. Par exemple, l'interprétation de la probabilité, à moins d'être exprimée dans le langage parfaitement technique des mathématiques, ne semble pas spécifier si l'onde nous renseigne sur une seule ou sur un *ensemble* de particules. On ne peut savoir clairement si elle indique la probabilité de trouver «la» particule ou «une» particule, ou si elle indique le nombre possible ou le nombre moyen de particules, mettons, dans un petit volume donné. En outre, l'opinion la plus générale sur la probabilité tend à dissimuler ces distinctions. Il est vrai que la précision des outils mathématiques permet de les distinguer les unes des autres. Il y a ici en jeu une question d'intérêt général que je vais expliquer. L'auteur du présent article indiqua en 1926 une méthode pour la résolution du problème des particules multiples. Elle employait les ondes dans un espace à $3N$ dimensions, N étant le nombre de particules. Elle se perfectionna grâce à une étude plus approfondie. L'étape qui amena ce perfectionnement est d'importance capitale. On remplaça le système à plusieurs dimensions par ce que l'on appelle la seconde quantification qui équivaut mathématiquement à réunir en une seule formule tri-dimensionnelle, les cas où $N = 0, 1, 2, 3 \ldots$ etc., jusqu'à l'infini. Ce procédé très ingénieux inclut ce que l'on appelle la statistique nouvelle, dont nous allons nous occuper ci-dessous en termes beaucoup plus simples. C'est la seule formulation précise des idées en cours à l'heure actuelle et celle que l'on utilise toujours; ce qu'il y a ici de plus significatif est le fait qu'on ne peut pas éviter de laisser indéterminé le nombre des particules dont on s'occupe. Il est donc évident qu'elles n'ont pas d'individualité.

7. LA NOTION DE PORTION DE MATIÈRE

Je tiens à insister sur une conception de la matière et de l'univers matériel à laquelle furent conduits Ernst Mach [1], Bertrand Russell [2] et d'autres, qui analysèrent minutieusement certains concepts. Elle s'éloigne de l'opinion commune. Il ne s'agit pas, cependant, de l'origine psychologique du concept de matière, mais de son analyse épistémologique. Cette attitude est si simple qu'elle ne peut même pas prétendre à l'originalité; certains pré-Socratiques, y compris le matérialiste Démocrite [3], en étaient plus proches que les grands hommes qui firent renaître et façonnèrent la science du 17e au 19e siècle.

D'après cette théorie, on appelle fragment de matière, une chaîne continue d'évènements qui se succèdent dans le temps, les plus rapprochés ayant entre eux une ressemblance étroite. L'évènement unique est un ensemble inextricable de perceptions associées à des images-souvenirs et d'anticipations associées aux deux précédentes. Les perceptions dominent dans le cas d'un objet inconnu, par exemple une tache blanche vue à distance sur une route, qui pourrait être une pierre, de la neige, du sel, un chat ou un chien, une chemise ou un corsage blanc, un mouchoir. Même alors, au cours de la chaîne d'évènements qui s'ensuivent, notre expérience nous apprend à prévoir les changements amenés par nos mouvements physiques, en particulier ceux de l'orientation visuelle. Dès que l'on a reconnu la nature de l'objet, ce sont les images et les anticipations qui prennent le pas. Ces dernières se rapportent aux sensations de dur, doux, lourd, flexible, rude, lisse, froid, salé, etc., associées aux images tactiles; elles se rapportent également à des mouvements

ou des bruits spontanés: aboiement, miaulement, cri, etc. On notera que je ne parle pas de nos pensées ou de nos considérations sur l'objet, mais des éléments qui constituent la perception que nous en avons — de ce qu'il est pour nos sens. Il n'y a cependant pas séparation nette. A mesure que se perfectionne notre familiarité avec une portion de matière, et en particulier à mesure que nous approchons de son aspect scientifique, la gamme des anticipations s'étend jusqu'à inclure le cas échéant tout ce que la science a élucidé, par exemple son point de fusion, la solubilité, sa conductivité électrique, sa densité, sa structure chimique et cristalline, etc. En même temps, le noyau que constitue la perception momentanée cède place à mesure que l'objet nous devient familier, soit par la connaissance scientifique soit par l'usage courant.

8. INDIVIDUALITÉ OU «IDENTITÉ»

Lorsque le noyau sensoriel s'est éclairé d'une richesse suffisante d'associations, il n'est plus nécessaire à la cohésion de l'ensemble. Celui-ci persiste même lorsque le contact de nos sens avec l'objet est momentanément suspendu. Bien plus, l'ensemble reste sous-jacent même lorsque la chaîne toute entière s'interrompt du fait que nous nous détournons de l'objet pour nous attacher à d'autres et l'oublions complètement. Cela n'est même pas un fait d'exception, mais une règle générale qui n'a pas d'exceptions puisque parfois nous dormons. Mais nous avons adopté un expédient utile qui est de combler les vides des chaînes correspondant à des fragments de matières de notre entourage immédiat ou lointain, afin de couvrir les moments où nous ne les voyons pas où n'y pensons pas. Lorsqu'un objet familier rentre dans notre champ visuel, on le reconnaît habituellement en tant que prolongement d'apparition précédente, comme le même objet. La permanence relative des fragments indépendants de matière est le trait le plus fondamental de la vie de tous les jours et de l'expérience scientifique tout à la fois. Si un objet familier, disons un pot de terre, disparaît de votre chambre, vous avez la certitude qu'on l'a emporté. S'il reparaît quelque temps après, vous pouvez vous demander s'il s'agit vraiment du même. Ce qui se casse, en l'occurrence, ne se casse plus. Il se peut que vous ne puissiez conclure, mais vous ne douterez pas que cette ressemblance douteuse possède une signification indiscutable, qu'il existe à votre question une réponse claire, tant est solide notre croyance dans la continuité des parties invisibles des chaînes !

Il est certain que la notion de l'individualité des fragments de matière a existé de temps immémorial. J'imagine que les animaux l'ont à leur façon, et un chien qui cherche l'os que l'on a caché la manifeste avec évidence. La science l'a adoptée comme allant de soi. Elle l'a raffinée afin d'embrasser tous les cas d'apparente disparition de la matière. L'idée qu'une bûche qui se consume, se transforme d'abord en feu, puis en cendres et en fumée n'est pas éloignée du primitif. La science lui a donné substance; la forme peut changer, mais pas les constituants définitifs de sa matière. Tel était (malgré les poussées de scepticisme mentionnées plus haut) l'enseignement de Démocrite. Ni lui ni Dalton ne doutèrent qu'un atome présent à l'origine dans le morceau de bois se trouve ensuite ou bien dans les cendres ou dans la fumée.

9. PORTÉE DE CETTE CONCEPTION SUR L'ATOMISME

Au tournant de la théorie atomique que marquent les publications de Heisenberg et de De Broglie en 1925, il a fallu changer d'attitude. C'est la plus surprenante révélation des développements de la théorie, et la caractéristique qui aura au bout du compte, les conséquences les plus importantes. Si nous gardons l'atomisme, les faits d'observation nous contraignent à refuser aux constituants ultimes de la matière le caractère d'individus identifiables. Jusqu'à une époque récente, les atomistes de tous les âges ont transféré ce caractère des fragments visibles et palpables de matière aux atomes, qu'ils ne pouvaient ni voir, ni toucher, ni observer à l'état isolé. Maintenant nous pouvons observer des particules isolées; nous voyons leurs traces à la chambre de Wilson et sur les émulsions photographiques; nous enregistrons les décharges pratiquement simultanées causées par une seule particule rapide dans deux ou trois compteurs de Geiger placés à plusieurs mètres les uns des autres. Cependant, il nous faut refuser à la particule la dignité d'individu absolument identifiable. Auparavant, un physicien, interrogé sur la substance même dont sont faits les atomes, aurait pu sourire, et esquiver la réponse. Si on avait insisté pour savoir s'il pouvait les imaginer comme de petits fragments immuables de matière ordinaire, il aurait répondu en souriant, que cela n'avancerait à rien, mais qu'en tout cas, ne serait pas dangereux. Cette question, autrefois vaine, a maintenant un sens. La réponse est définitivement non. Un atome est dépourvu de la propriété la plus primitive que l'on associe à un fragment de

matière dans la vie ordinaire. Certains philosophes du passé, auraient dit, devant cette contradiction, que l'atome moderne n'est plus du tout matière, mais pure forme.

10. SIGNIFICATION DES NOUVELLES STATISTIQUES

Il nous faut désormais expliquer les raisons de ce changement de façon plus explicite qu'à la fin de la partie 6. Il repose sur les statistiques nouvelles. Il y en a deux: celle de Bose-Einstein, dont Einstein a, le premier, souligné l'originalité et le domaine d'utilité; celle de Fermi-Dirac, dont l'expression la plus féconde est le principe d'exclusion de Pauli. Je vais tenter d'expliquer les statistiques nouvelles, et leurs relations avec la statistique classique, ou de Boltzmann, à ceux pour qui c'est entièrement nouveau, et se demandent peut-être ce que peut bien vouloir dire statistique dans ce contexte. Voici un exemple de la vie quotidienne.

Trois écoliers, Pierre, Paul et Jean, méritent une récompense. Le maître a deux récompenses à leur distribuer. Avant de le faire, il veut se rendre compte par lui-même du nombre de distributions différentes possibles. Cela seul nous intéresse (et non sa décision éventuelle). C'est une question de statistique: compter le nombre de distributions différentes. Ce qui compte, c'est que la réponse dépend de la nature des récompenses. Trois genres différents de récompenses illustrent les trois genres de statistique:

(*a*) Les deux récompenses sont des médailles à l'effigie respectivement de Laplace et de Pasteur. Le maître peut donner Laplace soit à Pierre, soit à Paul, soit à Jean, et Pasteur, soit à Pierre, soit à Paul, soit à Jean. Donc, il y a trois fois trois, c'est-à-dire neuf distributions différents (statistique classique).

(*b*) Les récompenses sont deux pièces de 1 shilling (que nous considérerons, pour l'argumentation, comme des unités indivisibles). On peut les donner à deux garçons différents, et le troisième n'aura rien. En plus de ces trois possibilités, il y en a trois autres: soit Pierre, soit Paul, soit Jean reçoivent deux shillings: il y a donc six distributions différentes (statistique de Bose-Einstein).

(*c*) Les deux récompenses sont deux places vacantes dans l'équipe de football de l'école. Dans ce cas, deux des garçons peuvent se joindre à l'équipe, et l'un reste en dehors. Il y a donc trois distributions différentes (statistique de Fermi-Dirac).

Que je vous le mentionne tout de suite: les récompenses sont les particules, deux de la même espèce dans chaque cas; les garçons représentent les états où peut se trouver la particule: Laplace est donné à Paul signifie: la particule Laplace se trouve dans l'état Paul.

Remarquez que le décompte est naturel, logique, et indiscutable dans chaque cas. Il est déterminé uniquement par la nature des objets: médailles, pièces, places vacantes. Elles sont de catégories différentes. Les médailles sont des individus, distinguables l'un de l'autre. Les shillings, dans toutes leurs utilisations, ne le sont pas, cependant on peut en posséder plusieurs à la fois. C'est une chose différente que d'avoir un shilling, ou deux, ou trois. Il n'y a pas de raison que des garçons échangent leurs shillings. Mais tout change, par contre, si un des garçons donne son shilling à l'autre. Quant il s'agit de places vacantes dans une équipe, rien de tout cela n'a de sens. Ou bien on appartient à l'équipe, ou non. On ne peut pas y appartenir deux fois simultanément.

L'expérience montre que les décomptes statistiques sur des particules élémentaires ne suivent jamais le modèle (*a*), mais toujours (*b*) ou (*c*). Pour certains (*c*) est valable pour toutes les particules authentiquement élémentaires. De telles particules, comme les électrons, font penser à l'appartenance à un club, je veux dire, à l'idée abstraite d'appartenance, non aux membres. Toute personne éligible comme membre du club représente un état bien défini où peut se trouver un électron. Si la personne est un membre, cela veut dire que l'électron se trouve dans cet état particulier. D'après le principe d'exclusion de Pauli, il ne peut jamais y avoir plus d'un électron dans un état déterminé. Notre comparaison exprime ce fait en déclarant que l'appartenance double n'a pas de sens — certainement le cas pour la plupart des clubs. Au cours du temps, la liste des membres change, et d'autres personnes deviennent membres: les électrons ont changé d'état. Si l'on peut parler, d'une façon peu précise, d'une place vacante attribuée à Paul, puis passant à Pierre, et de Pierre à Jean, cela dépend des circonstances. Elles peuvent suggérer cette idée ou non, mais jamais d'une façon absolue. C'est en cela que notre analogie est parfaite, car il en va de même pour un électron. De plus, rien n'empêche de considérer le nombre des membres comme variable. En fait, les électrons aussi sont créés et annihilés.

L'exemple peut paraître étrange, et vu à l'envers. On peut se demander pourquoi les membres ne seraient pas les électrons, et les divers

clubs leurs états. Ce serait tellement plus naturel. Le physicien le regrette, mais il ne peut rendre ce service . . . et c'est là le point saillant, on ne peut illustrer le comportement statistique des électrons par aucune analogie qui les représente comme des êtres identifiables. C'est pourquoi il résulte de leur comportement statistique réel, qu'ils ne sont pas identifiables.

Le cas (*b*), — statistique de Bose-Einstein — est celui des quanta de lumière (photons), entre autres. La discussion s'impose à peine. Cela ne nous semble pas si étrange, justement parce qu'il s'agit de lumière, c'est-à-dire d'énergie électromagnétique; et aux temps préquantiques, on a toujours conçu l'énergie de façon bien semblable à la représentation de notre analogie: susceptible de mesure, mais sans individualité.

11. RESTRICTIONS À LA NOTION D'IDENTITÉ

La question la plus délicate concerne les états, par exemple, d'un électron. Bien sûr, il ne s'agit pas de les définir classiquement, mais à la lumière des relations d'incertitude. Le traitement rigoureux signalé à la fin de la partie 6 n'est, en fait, pas fondé sur la notion d'«état d'un électron», mais sur celle d'«état d'une assemblée d'électrons». C'est comme s'il fallait envisager la liste totale des membres du club, — ou plutôt plusieurs listes de places vacantes, correspondant aux diverses espèces de particules qui composent le système en question. Si je fais état de ceci, ce n'est pas pour entrer dans les détails, mais parce qu'il y a deux défauts dans la comparaison du club. D'abord les états possibles d'un électron (que nous avons assimilé aux candidats aux places vacantes d'un club) ne sont pas définis de façon absolue; ils dépendent de l'agencement de l'expérience (réelle ou supposée). Une fois celui-ci connu, les états ont des identités bien définies, ce qui n'est pas le cas des électrons. Second défaut de la comparaison: les états forment une multiplicité bien ordonnée. En d'autres termes, il n'est pas sans signification de parler d'états voisins par opposition à ceux qui sont éloignés les uns des autres. En outre, je crois qu'il est juste de dire que l'on peut concevoir cet ordre de telle façon qu'en règle générale, lorsqu'un état occupé cesse de l'être, c'est un état voisin qui le devient.

Cela explique que, dans des circonstances favorables, on puisse provoquer de longues chaînes d'états occupés successivement, semblables à celles dont traitent les paragraphes 7 et 8. Une telle chaîne donne l'impression d'un individu identifiable, tout comme dans le cas d'un objet familier quelconque. C'est dans cet esprit que l'on doit observer les traces de la chambre de Wilson ou d'une émulsion photographique, et les décharges pratiquement simultanées d'une rangée de compteurs de Geiger, que l'on dit causées par la même particule passant d'un compteur à l'autre. Dans ce cas-là, il serait très peu commode de rejeter cette terminologie. Il n'y a d'ailleurs aucune raison de le faire pourvu que nous nous souvenions que dans le domaine expérimental, le concept d'identité de la particule n'est pas absolu. Il n'a qu'un sens restreint, et parfois même s'effondra complètement.

On peut prévoir facilement dans quelles circonstances se manifestera cette identité restreinte: à savoir lorsque quelques états seulement sont occupés dans le domaine de la multiplicité qui nous intéresse, ou en d'autres termes, lorsque les états occupés ne sont pas trop nombreux dans ce domaine, ou lorsque l'occupation est un évènement rare. Les termes de *quelques*, *nombreux* et *rares* se rapportant tous à la multiplicité d'états. Autrement, les chaînes s'entremêlent de façon inextricable et révèlent la situation véritable. Dans le dernier paragraphe, nous formulerons les conditions quantitatives pour le cas où domine l'identité restreinte.

Voyons maintenant ce qui arrive lorsqu'elle est dissimulée.

12. MULTIPLICITÉ ET ASPECT ONDULATOIRE

On a l'impression que dans la mesure où l'individualité des particules disparaît derrière la multiplicité, l'aspect particule prend de moins en moins d'intérêt et doit céder la place à l'aspect ondulatoire. Par exemple, dans l'enveloppe électronique d'un atome ou d'une molécule, la population est extrêmement dense, et pratiquement tous les états d'un groupe donné sont occupés par les électrons. Cela est vrai aussi des soi-disant électrons libres à l'intérieur d'un métal. Dans ces deux cas, l'aspect particulaire devient absolument inadéquat. Par ailleurs, dans un gaz ordinaire, les molécules sont extrêmement rares dans le domaine d'états étendus qu'elles couvrent. Il n'y a pas plus d'un état occupé sur 10 000. C'est ainsi que la théorie des gaz basée sur l'aspect particulaire put arriver à une grande perfection bien avant que l'on découvrit l'aspect ondulatoire de la matière ordinaire. (Dans la dernière remarque, j'ai parlé des molécules comme de particules à l'état limite; cela est justifié dans la mesure

où il s'agit de leur déplacement par translation).

Il est tentant d'attribuer aux deux aspects antinomiques, celui de particule et celui d'onde, entière compétence dans les cas extrêmes respectivement de «raréfaction» et de «multiplicité». Il n'y aurait entre eux en quelque sorte qu'une région intermédiaire de transition. Ce n'est pas là une idée absolument fausse, mais elle est loin d'être rigoureusement exacte. On se souvient sans doute des figures d'interférence citées dans le paragraphe 2 comme preuve de la nature ondulatoire de l'électron. On peut les obtenir à partir d'un faisceau de rayons cathodiques aussi ténu que l'on veut, à condition de prolonger assez l'exposition. On provoque ainsi un phénomène ondulatoire typique, indépendamment de la population. Voici un autre exemple. Pour faire une étude théorique efficace du choc de deux particules, (de nature semblable ou différente), il faut tenir compte de leur aspect ondulatoire. Les résultats s'appliquent parfaitement à la collision des particules de rayons cosmiques avec les noyaux d'atomes atmosphériques, cependant, tous deux sont extrêmement raréfiés, dans tous les sens du terme. Mais ces dernières considérations sont peut-être banales; elles signifient seulement que même une particule isolée qui donne passagèrement l'illusion d'individualité, ne se compare en rien à la particule classique. Elle reste soumise à la relation d'incertitude, dont la seule représentation acceptable est le groupe ondes-guides.

13. CE QUI CONDITIONNE L'ASPECT DE PARTICULE

Il s'agit de la condition quantitative suivant laquelle se développent les chaînes de façon à imiter les individus et à suggérer l'aspect de particule. Le produit du moment p et de la distance moyenne l entre les particules voisines, doit être notablement plus élevé que la constante de Planck h:

$$pl >> h$$

C'est ce moment p — et non pas la vitesse — que nous aurions dû mentionner dans les paragraphes 4 et 5, lorsque nous parlions de la relation d'incertitude; p n'est autre que le produit de la masse par la vitesse, à moins que celle-ci ne soit de l'ordre de celle de la lumière; l grand correspond à une faible densité dans l'espace ordinaire. Ce qui compte d'ailleurs, est la densité dans la multiplicité des états — ou espace de phase, en termes techniques. C'est la raison pour laquelle p intervient. C'est une satisfaction de se rappeler que ces chaînages tout à fait évidents: traces visibles de la chambre de Wilson ou de l'émulsion photographique et décharges simultanées des compteurs juxtaposés, proviennent toutes de particules douées d'un moment relativement grand.

La relation ci-dessus est une formule familière de la théorie des gaz; elle exprime la condition à satisfaire avec une approximation suffisante afin que la vieille théorie des particules gazeuses soit utilisable elle-même avec une approximation suffisante. Il faut modifier cette théorie à la lumière de celle des quanta, lorsque la température est très basse et la densité très forte, et que par suite le produit pl n'est plus de beaucoup supérieur à h. Ce changement porte le nom de théorie des gaz dégénérés; son application la plus connue est celle qu'en fit A. Sommerfeld aux électrons intérieurs d'un métal; nous y avons déjà fait allusion pour ces cas de multiplicité extrême.

Entre notre relation et celle d'incertitude existe le lien suivant: la relation d'incertitude permet à tout moment de distinguer une particule des particules voisines en la localisant avec une erreur bien inférieure à la distance moyenne l. Ceci entraîne pourtant une incertitude pour p. Par suite, à mesure que la particule se déplace, l'incertitude de la localisation s'accroît. Si l'on veut qu'elle reste encore très inférieure à l lorsque la particule a parcouru la distance l, on arrive précisément à la relation ci-dessus. Une fois de plus, il me faut mettre en garde contre une fausse interprétation qui pourrait surgir des termes précédents que la multiplicité entrave *l'enregistrement* de l'individualité d'une particule et nous fait prendre les particules les unes pour les autres. Le fait est qu'il n'existe pas d'individus que l'on pourrait confondre. De telles affirmations n'ont aucun sens.

BIBLIOGRAPHIE

[1] MACH, ERNST. «Erkenntnis und Irrtum». J. A. Barth, Leipzig. 1905.

[2] RUSSELL, BERTRAND. «Human Knowledge, Its Scope and Limits». Allen and Unwin, Londres. 1948.

[3] DIELS, HERMANN. «Die Fragmente der Vorsokratiker». Weidmannsche Buchhandlung, Berlin. 1903. (L'ouvrage se rapporte surtout au fragment 125 de Démocrite.)

Thomas Wright de Durham

F. A. PANETH

Dans ce compte-rendu de l'œuvre essentielle de Thomas Wright (1711–86) ont été incluses certaines de ses gravures à la main. On y voit sa conception des étoiles, centres de systèmes solaires individuels, et du mouvement propre des étoiles fixes. Ses opinions sur la forme de la galaxie inspirèrent la théorie kantienne de l'univers. A la vie de Wright rapidement esquissée, s'ajoute une liste commentée de ses œuvres avec une bibliographie de la littérature qui s'y rapporte.

Il y a deux cents ans, en 1750, on publiait à Londres l'«*Original Theory or New Hypothesis of the Universe*» de Thomas Wright. Les frais d'impression en étaient couverts grâce à des souscriptions, venant surtout de la haute société, mais aucun astronome anglais ne s'y intéressa.

En 1837, C. S. Rafinesque, le naturaliste bien connu des Etats-Unis, prépara une deuxième édition; dans la «Préface de l'Editeur Américain» il écrivit: «Notre digne Auteur a été complètement ignoré par ses compatriotes aveugles. Nous ne l'avons vu cité nulle part encore, et ce Philosophe et Astronome, l'égal de Platon, de Copernic, de Newton et d'Herschel, était presque inconnu jusqu'au jour où, ayant découvert son œuvre, nous avons décidé aussitôt de le ramener à la vie et à la gloire».

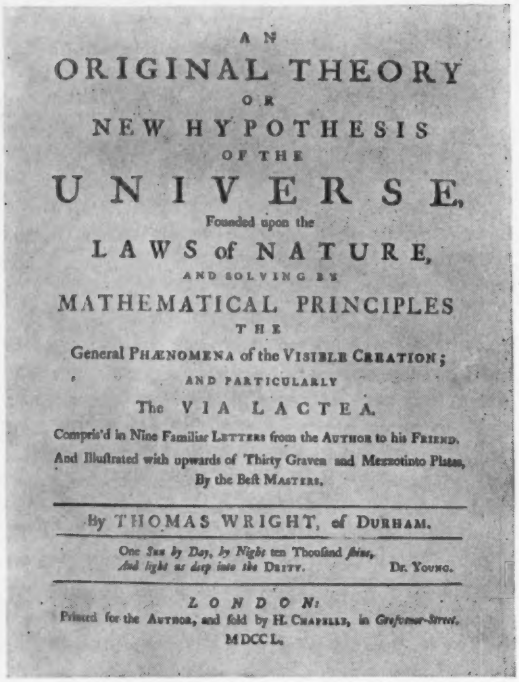
Rafinesque avait raison de dire que Thomas Wright était totalement ignoré en Angleterre, mais il se trompait en pensant que ses propres efforts rétabliraient la réputation de l'astronome (sa modeste brochure, publiée à Philadelphie sans aucune gravure, est plus rare aujourd'hui que l'impressionnant volume de Wright, en Angleterre tout au moins, car il semble que le British Museum en possède le seul exemplaire). Rafinesque exagérait en essayant de placer Thomas Wright sur le même plan que les plus grands noms de l'astronomie, et il ignorait que certaines des idées de Wright avaient inspiré Emmanuel Kant, isolé en Prusse Orientale, lorsqu'il élaborait sa propre théorie de l'univers, dans laquelle il reconnaissait pleinement, d'ailleurs, l'inspiration qu'il avait reçue de Wright.

C'est grâce à Kant, et non à Rafinesque, que le nom de Wright n'a pas été oublié: c'est par Kant que les astronomes Arago à Paris et Struve à St. Pétersbourg ont entendu parler de lui; leurs références amenèrent le mathématicien De Morgan, de Londres, à publier en 1848 des résumés de son livre et à «proposer que son nom soit inclus dans la liste des découvreurs» [3]. Les vues de De Morgan étaient faussées parce qu'il ignorait l'existence des écrits de Kant, mais le rapport entre les deux penseurs a été étudié plus à fond par R. A. Sampson [4], en 1896, par W. Hastie [5], en 1900 et plus récemment encore (en 1941) dans un article du *Durham University Journal* qui a été réimprimé par le périodique *The Observatory* [6].

Le présent article est destiné à rappeler le bicentenaire de l'ouvrage principal de Thomas Wright, et à compléter tout ce qui a été écrit à son propos jusqu'à présent en y ajoutant des illustrations tirées de ses livres.

Thomas Wright était plus qu'un savant: c'était un artiste, ou tout au moins un artisan qui dessinait et qui gravait fort bien, mais il était piètre comme écrivain et des extraits de son texte, sans les gravures, ne donnent qu'une pauvre impression du caractère de son œuvre. Deux ans avant l'«*Original Theory*», il fit paraître un livre richement illustré, «*Louthiana*», le fruit de deux années d'études approfondies, dans lequel il décrit des monuments anciens de cette région de l'Irlande. Ces livres ont un trait commun: tous deux contiennent des eaux-fortes exécutées avec grand soin, et gravées par Thomas Wright ou sous son contrôle direct. Wright avait une certaine réputation comme architecte; peu de visiteurs de la Cathédrale de Durham se doutent que les crénaux des tours à l'ouest furent reconstruites au début du 19e siècle d'après un plan de Thomas Wright. La bibliothèque du Chapitre de Durham en possède toujours le dessin original.

Le frontispice de l'«*Original Theory*» nous apprend que Wright considérait que l'explication de la Voie Lactée en était la partie la plus importante (voir figure 1); cependant, il n'y a que deux des trente-deux planches qui se rattachent directement à ce sujet. La première représente la Voie Lactée telle qu'on la voit dans un télescope (voir figure 5). Aujourd'hui nous sommes gâtés par la



AN
ORIGINAL THEORY
OR
NEW HYPOTHESIS
OF THE
UNIVERSE,
Founded upon the
LAWS of NATURE,
AND SOLVING BY
MATHEMATICAL PRINCIPLES
THE
General PHÆNOMENA of the VISIBLE CREATION;
AND PARTICULARLY
The VIA LACTEA.
Compris'd in Nine Familiar LETTERS from the AUTHOR to his FRIEND.
And Illustrated with upwards of Thirty Graven and Mezzotinto Plates,
By the Best MASTERS.

By THOMAS WRIGHT, of DURHAM.

One *Sun by Day, by Night* ten Thousand *shine,*
And light us deep into the DEITY. Dr. YOUNG.

LONDON:
Printed for the AUTHOR, and sold by H. CHAPELLE, in *Grosvenor-Street.*
MDCCL.

FIGURE 1 – *Frontispice de l'*Original Theory.

richesse et la beauté des illustrations photographiques des ouvrages de vulgarisation scientifique, mais il est à croire qu'avant Wright on n'avait jamais mis d'aussi belles gravures dans un traité d'astronomie. Deux autres gravures à la manière noire représentent les Pléiades (voir figure 6) et un amas dans Persée.

La seconde planche consacrée à la Voie Lactée est un diagramme (voir figure 8) comme la plupart des illustrations de l'«*Original Theory*». Wright y démontre que la Voie Lactée n'est pas une ceinture d'étoiles se pressant autour du soleil; d'après lui ce serait une illusion d'optique due à la forme particulière du système stellaire dont le soleil fait partie. En supposant que deux des dimensions de ce système s'étendent beaucoup plus dans l'espace que la troisième, il pouvait facilement prouver que si nous sommes presque au centre, les étoiles nous paraîtront former à peu près un cercle, bien que la distance moyenne qui les sépare puisse être la même partout; ce cercle est la galaxie.

Thomas Wright avait certainement raison d'appeler cette théorie une «théorie originale». Les astronomes commençaient à peine à prouver à l'aide du télescope que la Voie Lactée n'était pas réellement une masse nébuleuse, mais un très grand nombre d'étoiles, trop nombreuses pour qu'on puisse les distinguer à l'œil nu; ce qui était tout-à-fait neuf, d'autre part, c'était de considérer cette grande concentration d'étoiles comme une chose apparente et due uniquement à la position du soleil par rapport aux autres étoiles dans notre partie de l'univers. Trente-cinq ans plus tard, Herschel, qui se basait sur ses propres observations et ignorait tout des idées de Thomas Wright, arrivait à la conclusion que les étoiles «de notre nébuleuse» délimitent un disque; depuis ce temps-là on s'est occupé surtout de définir la forme exacte de ce disque et la place que le soleil y occupe. L'exactitude foncière de la conception d'Herschel ne fait aucun doute aujourd'hui et cette conception est essentiellement celle que Wright a adoptée dans l'«*Original Theory*». Kant n'avait pas vu le livre de Wright. Tout ce qu'il en connaissait, il l'avait lu par hasard dans un périodique d'Hambourg, qui en avait présenté un résumé court mais fort bien fait. Il accepta l'explication de Wright sur la Voie Lactée, mais il ne la considéra que comme une remarque que Wright lui-même «n'avait pas employée à des fins très importantes, et dont il n'avait pas suffisamment observé les applications utiles». La conception de Wright est géométrique, et elle est exacte à ce point de vue. Celle de Kant est dynamique et évolutionnaire; à l'aide de la loi de la gravitation universelle il essaie d'expliquer comment l'univers a évolué en partant d'une distribution uniforme des particules. Le titre de son livre, «*Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*» indique qu'il voulait retracer l'histoire du monde; on pourrait l'intituler «Théorie universelle de l'évolution céleste», ce qui dépasse de loin toutes les ambitions de Wright.

Ce n'est pas ici le lieu d'étudier en détail le rapport entre les deux systèmes universels, de Kant et de Wright, mais nous indiquerons cependant une différence essentielle qui ne semble pas avoir été remarquée auparavant. La conception de Wright apparaît clairement dans plusieurs de ses planches (voir figures 7 et 9). Les nombreux systèmes solaires dont il suppose l'existence sont toujours représentés comme des sphères fermées ou par des cercles en plan (dans ce cas on découvre «l'œil de la Providence» au centre de chacun d'entre eux), et plusieurs lecteurs ont dû se demander ce que représentent les limites des systèmes d'étoiles. Il ne l'explique pas dans l'«*Original Theory*», mais dans un ouvrage précédent, «*The Use of the Globes*», il y a un dessin analogue, et ici il déclare que sa conception repose

FIG
faire

F2

FIGURE 2 – *Westerton Folly, construite par Wright en vue d'en faire un observatoire privé.*

FIGURE 3 – *Thomas Wright.* (*Réduction d'une gravure in-quarto qui précède quelques exemplaires de* Clavis Coelestis *et de l'*Original Theory.)

FIGURE 4 – *Byer's Green Hall, la demeure de Wright.*

FIGURE 5 – *Le Voie Lactée, vue «au moyen d'un très bon télescope à réflexion».*
(*Les figures 5–10 sont tirées de l'*Original Theory.)

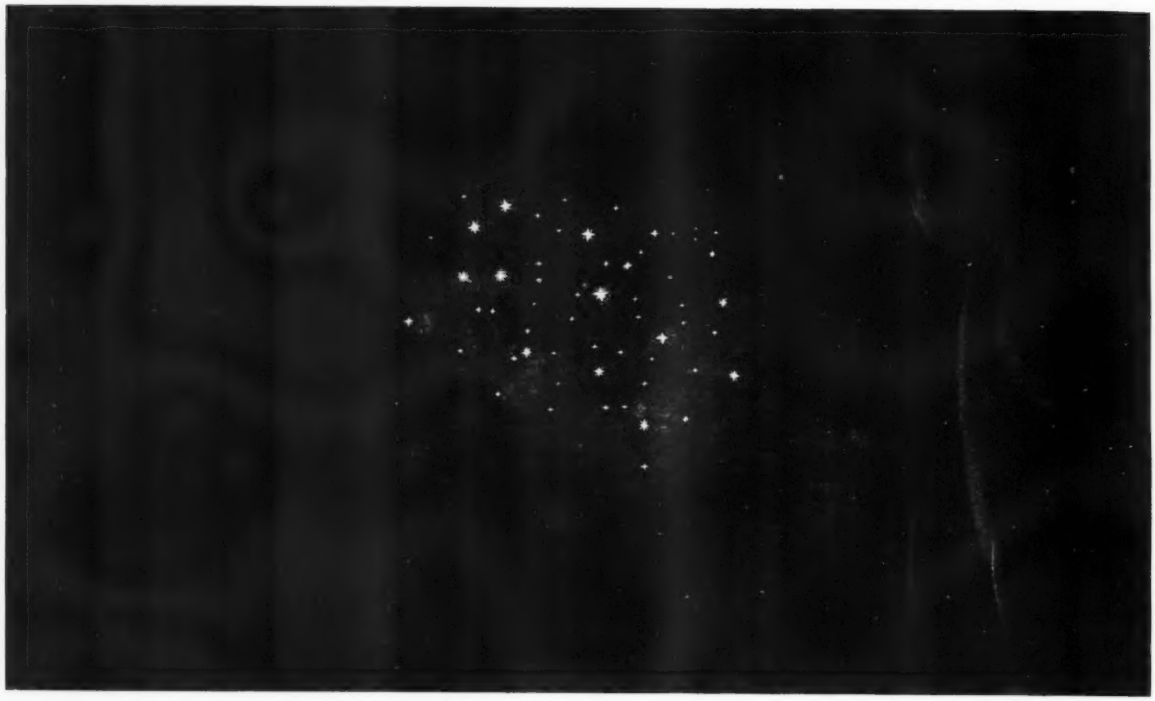


FIGURE 6 – *Les Pléiades telles qu'on les voit «au moyen d'un télescope à miroir de 30 cm».*

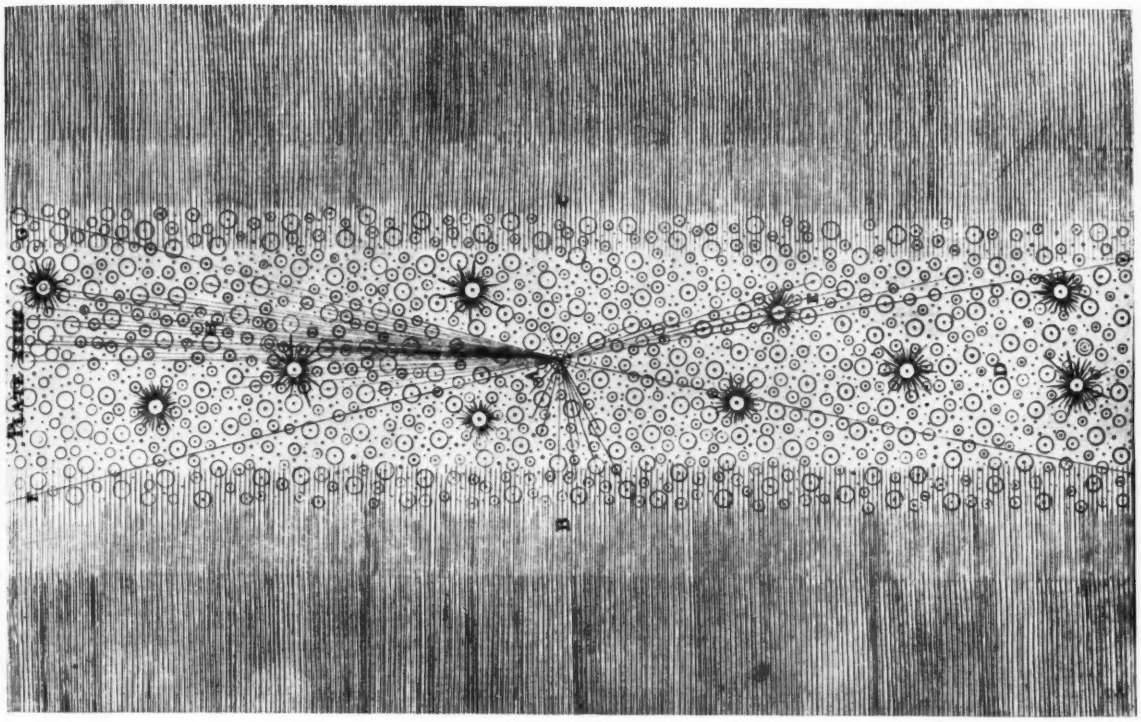


FIGURE 8 – *Diagramme de la Voie Lactée.*

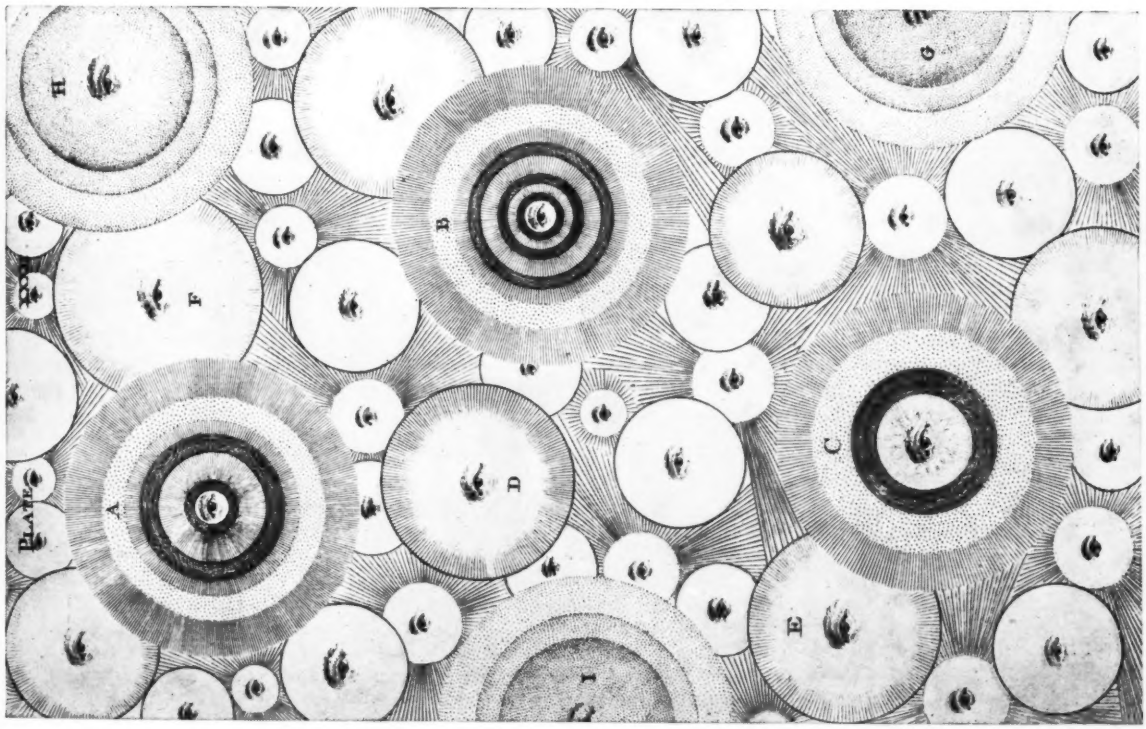


FIGURE 7 – *«Une vue finie de l'Infini».*

FIGURE 5 – *Le Voie Lactée, ou «au moyen d'un très bon télescope à réflexion».*
(*Les figures 5–10 sont tirées de l'*Original Theory.)

FIGURE 6 – *Les Pléiades telles qu'on les voit «au moyen d'un télescope à miroir de 30 cm».*

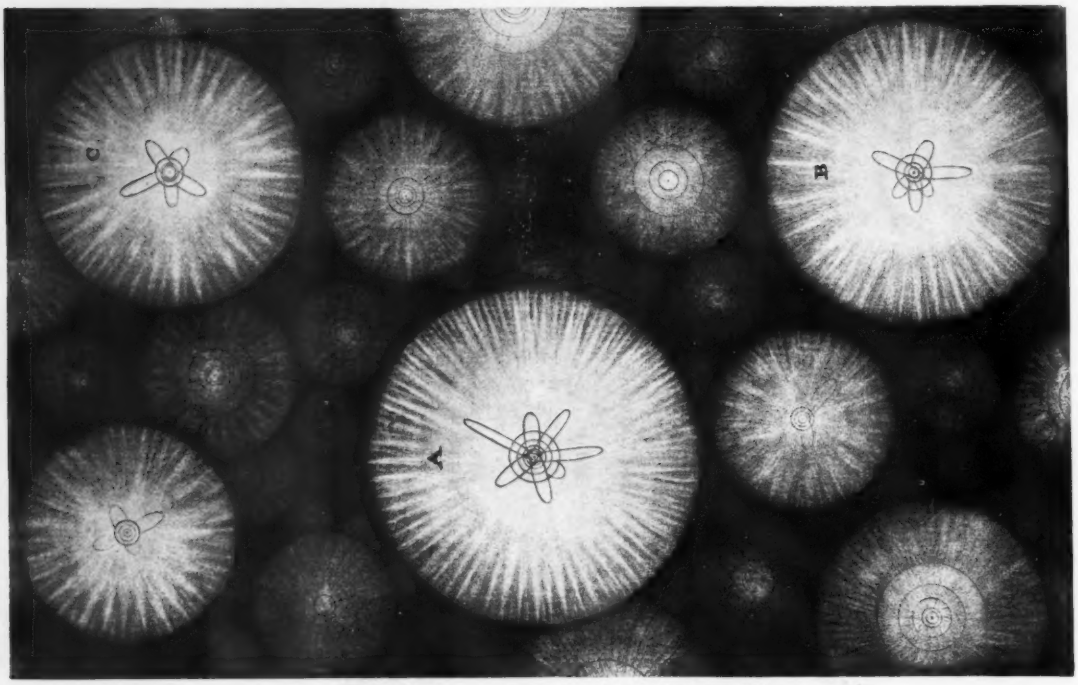


FIGURE 9 – «*Vue en perspective de la Création visible*».

«sur l'Hypothèse que les Etoiles sont toutes des Soleils; que chacune de ces Etoiles (ou Soleils) est accompagnée (comme notre Soleil) du nombre approprié de Planètes et de Comètes, et que chacune a un champ d'attraction indépendant de toutes les autres», de sorte que «ces divers systèmes ne peuvent se gêner l'un l'autre». Il est clair par ce passage que les sphères enveloppantes de ces planches de Wright indiquent les limites des forces indépendantes d'attraction. Cette idée étrange montre quel abîme il y avait entre sa philosophie naturelle et celle de Kant; pour Kant la loi de Newton s'appliquait à l'univers tout entier: cette attraction était «illimitée et universelle» et s'étendait «aux confins des distances infinies de la nature».

Dans les nombreux graphiques du livre de Wright, il y en a deux qui sont plus que des illustrations du point de vue qualitatif: elles sont destinées à aider les astronomes professionnels dans l'étude de la position des étoiles. Wright était convaincu que les étoiles «fixes» se meuvent, et afin de permettre aux futurs astronomes d'établir ce fait de façon indiscutable, il s'est efforcé de leur transmettre les positions relatives des étoiles principales des Pléiades et de Persée telles qu'elles lui apparaissaient. Comme ses belles gravures de ces constellations dont nous avons parlé plus haut ne pouvaient forcément pas convenir pour cette tâche délicate, il les a complétées par des dessins géométriques. La figure 10, qui représente les Pléiades, nous montre sa façon de relier les étoiles par de nombreuses lignes droites; les étoiles occupaient ainsi les sommets de triangles et il espérait que tout déplacement futur des étoiles pourrait facilement s'observer par la disparition des régularités qu'on voit sur ses planches. Il est plutôt curieux de constater — mais c'est très typique aussi — qu'il se soit fondé entièrement sur des eaux-fortes pour effectuer des comparaisons aussi difficiles, et qu'il ne se soit pas donné la peine d'indiquer par des nombres les positions des étoiles qu'il avait observées. D'ailleurs, si les Pléiades se déplaçaient en groupe — et c'est le cas — leurs positions relatives ne diffèreraient en rien des dessins.

Wright devait être très heureux d'échanger la plume pour le burin du graveur; les dessins qu'il a gravés n'avaient pas de valeur réelle pour l'observation du mouvement des étoiles, mais nous

pouvons peut-être y voir un pressentiment de l'appui décisif que la photographie infiniment plus précise des étoiles apporte aujourd'hui à l'astronomie. Lorsque les observatoires modernes mettent de côté des milliers de plaques photographiques en vue de comparaisons futures, ils ne font vraiment rien d'autre que ce que Wright avait en l'esprit lorsqu'il gravait péniblement ses plaques de cuivre.

Pour être juste et comprendre ses particularités comme auteur, on ne doit pas oublier le genre de lecteurs auxquels il s'adressait. Les souscripteurs de son livre étaient les mêmes personnes de bonne famille à qui il donnait des leçons de vive-voix. On comprend mieux alors son nombre exagéré d'illustrations et aussi son habitude si fatigante pour le lecteur moderne d'interrompre ses discours scientifiques par des digressions théologiques, des exhortations et des citations des poètes. Le contenu scientifique de l'«*Original Theory*» aurait aisément pu s'imprimer sur la moitié de ses quatre-vingt-quatre pages, et les idées intéressantes de Wright auraient eu plus de chances ainsi d'attirer l'attention de ses contemporains. Il n'est sans doute tout-à-fait «original» que dans son explication de la Voie Lactée; il y a lieu de noter cependant que dans son livre l'interprétation de la nature de l'anneau de Saturne — qui serait constitué de petites particules — se rapproche aussi de la conception moderne. Certains auteurs traitant d'astronomie lui attribuent la supposition suivante: «si nous pouvions regarder Saturne au moyen d'un télescope adéquat, nous verrions que ses anneaux ne sont rien moins qu'un nombre infini de Planètes mineures, inférieures à celles que nous appelons ses satellites». D'autre part, Kant, discutant des objections théoriques dérivant de la loi de Képler qui s'opposent à l'hypothèse d'un anneau solide, déclare qu'en 1705 déjà Cassini avait émis l'idée que l'anneau de Saturne pourrait bien être un essaim de petits satellites. Il est plus que probable que Wright, qui se préoccupait moins que Kant de donner ses sources exactes, avait lu, lui aussi, le mémoire de Cassini. Par contre, il est tout aussi vraisemblable qu'il ait été le premier à voir les nébuleuses comme des systèmes semblables à la galaxie, et que ce soit par là, entre autres, qu'il ait influencé Kant; mais le résumé d'Hambourg que Kant a lu, ne rend pas clairement compte de l'opinion de Wright. En tout cas, l'argument principal de Kant pour l'interprétation des nébuleuses, à savoir leur forme elliptique, ne se trouve pas dans le livre de Wright.

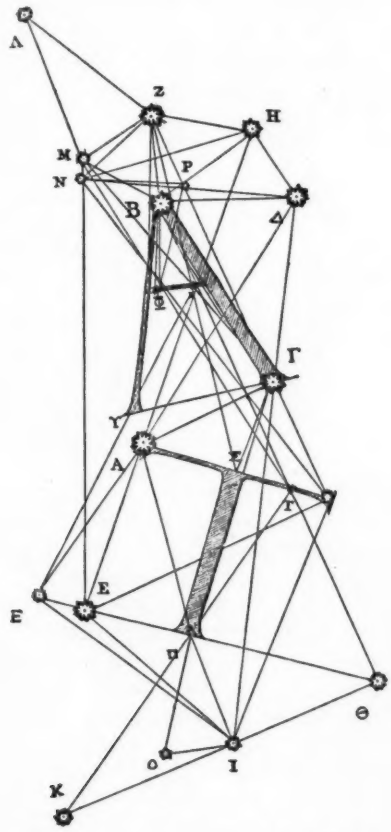


FIGURE 10 – *Diagramme des Pléiades.*

Un mérite de l'article de De Morgan, cité plus haut, est d'avoir attiré l'attention sur la seule source d'information biographique concernant Thomas Wright. Peu après la mort de ce dernier, en effet, un de ses amis personnels, George Allan, de Darlington, fit paraître dans le *Gentleman's Magazine* un article intitulé «Portrait de feu Mr. Thomas Wright, de Byer's Green Lodge, dans le comté de Durham» [1]. Malheureusement Allan était un antiquaire dépourvu de jugement scientifique; il n'a vu surtout que le succès social de son héros. L'éducation de Thomas Wright, fils de charpentier, né en 1711 au petit village de Byer's Green à 10 km de Durham, avait été rendue difficile par un défaut de la parole; à l'âge mûr il était un précepteur d'astronomie et de mathématiques très en vogue auprès des dames de l'aristocratie anglaise: il passait ses journées dans les propriétés de ducs et de comtes, chassant et dînant avec eux. C'est à l'un d'entre eux qu'il dut l'annuité qui lui permit de vivre de ses rentes

pour le reste de ses jours dans son village natal; il fit construire une grande maison qu'il prit le plus grand soin à décorer avec des tableaux, des gravures et des vers de ses poètes favoris. Il y vécut en célibataire, dans une sérénité philosophique parmi ses livres et ses instruments en s'occupant de plans pour l'érection d'un observatoire privé jusqu'à sa mort en 1786. Il fut enterré au cimetière de St Andrew à Bishop Auckland.

On l'oublia vite. En brossant le portrait d'un précepteur de la noblesse doué pour la vulgarisation de l'astronomie, l'auteur de la notice nécrologique ne réussit évidemment pas à éveiller l'intérêt des savants. Il parle à peine des études sérieuses de Wright, mais il est plein d'admiration quand il nous décrit l'érection, dans les jardins de ses riches patrons, de grands modèles du système solaire, la construction d'un «éventail astronomique pour les dames», et l'embellissement de divers livres par des eaux-fortes. Son éloge de l'«*Original Theory*» est très bref: «il est illustré par beaucoup de gravures», mais au moins il s'intéressait à ces gravures et il acheta les planches gravées de Wright. Il acheta également sa collection de tableaux et de gravures, mais une malchance particulière semble s'être acharnée sur ces reliques. La collection d'Allan passa aux mains de la *Literary and Philosophical Society* de Newcastle; il n'est pas impossible que les livres, les dessins et même les instruments de Wright y aient été conservés, mais presque tous les biens de la Société périrent dans un incendie en 1893, et aujourd'hui on ne retrouve plus rien qui se rapporte à Wright. Sa maison à Byer's Green est toujours debout, mais elle n'a plus rien de l'élégante demeure d'un gentilhomme en retraite: elle a été divisée en trois petits appartements, et elle est entourée de près par des bâtisses bon marché qui occupent l'ancien emplacement des jardins et des vergers que Wright affectionait: de son temps il n'y avait aucune maison à moins de 100 mètres de la sienne. La terrasse à l'ouest où il aimait prendre ses repas en plein air a disparu aussi; il n'est donc pas facile de reconnaître dans le terne Byer's Green d'aujourd'hui, la demeure du 18e siècle dont il avait un jour donné lui-même une description si brillante dans une lettre à un ami [2]. L'assemblage de cadrans que Thomas Wright avait construit sur la jetée à l'entrée du port de Sunderland n'a pas eu un sort meilleur; ce devait être une fameuse pièce, parce qu'il en reçut des honoraires de 20 guinées et la description en fut faite aux frais de la ville: mais la jetée fut reconstruite en 1786, et l'on ignore ce qu'il est advenu des cadrans solaires de Thomas Wright. Il n'y a qu'une construction qui semble avoir survécu sous la forme exacte que Thomas Wright lui avait donnée, c'est «la tour gothique sur une des plus hautes collines du pays», comme il l'appelle (voir figure 2). Elle appartient au petit village de Westerton, à 3 km de la demeure de Wright à Byer's Green. Il comptait en faire son observatoire privé, mais elle ne remplit jamais ce rôle, car il mourut avant de l'avoir équipée. Il est plus que probable qu'elle ne servit jamais à rien, si ce n'est comme poste d'observation pendant la dernière guerre. C'est peut-être à cause de cela que les gens de l'endroit l'appellent «Westerton Folly» (la Folie de Westerton), que l'on a toutes les peines du monde à en trouver le propriétaire actuel et à y entrer, et qu'elle est absolument vide. L'escalier de bois en spirale, à l'intérieur, a perdu des marches et il n'est pas très sûr, mais celui qui monte jusqu'au sommet de la tour sera surpris de la vue magnifique qu'on y découvre sur la campagne avoisinante, avec la cathédrale de Durham dans le lointain. L'endroit était certainement bien choisi.

L'université de Durham fêtera le bicentenaire de la publication de l'«*Original Theory*» de Thomas Wright en faisant une exposition de ses livres et en inaugurant une plaque commémorative sur la tour de l'observatoire. Personne n'imitera Rafinesque en essayant de placer Wright au même rang que Newton, mais on sent que trop peu de gens encore connaissent les vrais mérites de Wright et aussi que l'«*Original Theory*» est devenu un chaînon assez important dans l'histoire de l'astronomie. Ce que Rafinesque admirait le plus, les passages flamboyants dans la dernière lettre de Wright sur les principes théologiques et moraux (il les voyait situés au centre de l'univers), sont précisément ceux que Kant traite avec une ironie à peine déguisée. Ni Rafinesque, ni Allan, l'ami de Wright, ne pouvaient «le ramener à la vie et à la gloire», parce que ce qu'ils admiraient, et ce qui comptait aux yeux de Wright lui-même, était ou bien hors de propos ou ne pouvait résister à une critique sérieuse. D'autre part, sa seule grande idée, l'explication de la Voie Lactée, ne semble pas l'avoir préoccupé dans les années suivantes; il n'y revint jamais et ses «applications utiles» lui ont échappé totalement. Seul Kant les comprit, et put ainsi dire ce qui avait une valeur permanente dans le livre de Wright.

On ne saurait exagérer l'influence que la science et la philosophie britanniques ont exercée sur la formation de Kant. Toute sa vie durant, il a fidèlement suivi les doctrines de Newton, et dans

la préface de sa «Théorie universelle de l'évolution céleste», il donne un «Aperçu des principes essentiels de la philosophie naturelle de Newton» nécessaire à la compréhension de son propre livre. Son activité philosophique propre naquit à la lecture de Hume, qui, dit-il, l'éveilla «de son engourdissement dogmatique». En Wright nous voyons un autre Anglais qui a contribué de façon décisive à l'expression des idées personnelles de Kant: ce fait est d'autant plus remarquable que dans son pays natal Wright n'a pas marqué de son empreinte le progrès de l'astronomie.

C'est un adage bien vieux et pourtant bien vrai: *pro captu lectoris habent sua fata libelli.* Le sort d'un livre dépend des aptitudes du lecteur; mais ce doit être plutôt rare quand même, qu'un lecteur unique — et à l'étranger encore — ait perçu l'étincelle de génie dans un fatras de littérature banale, et qu'en adoptant et en développant cette idée brillante il ait sauvé de l'oubli la mémoire de son auteur.

BIBLIOGRAPHIE CONCERNANT THOMAS WRIGHT

[1] «A Sketch of the Character of Mr. Thomas Wright, late of Byer's Green Lodge, in the County of Durham» (Portrait de feu Mr. Thomas Wright, de Byer's Green Lodge dans le Comté de Durham). *Gentleman's Magazine*, **63**, 6 et 126, 1793. L'auteur de cet article anonyme avait été l'ami intime de Wright, et ses déclarations reposent sur des observations personnelles et sur les notes de Wright lui-même. C'est la seule source originale d'information qu'on possède sur la vie de Wright; la plupart des paragraphes qui traitent de lui dans les dictionnaires biographiques et dans les guides (sur Darlington, Bishop Auckland, le comté de Durham, etc.) en sont copiés mot à mot. Le portrait qui accompagne cet article ressemble à la gravure reproduite ici (voir figure 3), mais il est beaucoup plus grossier.

[2] «Mr. Wright's Description of his Villa at Byer's Green» (Description par Mr. Wright de sa villa à Byer's Green). *Gentleman's Magazine*, **63**, 213, 1793. Lettre très caractéristique à un ami, publiée en appendice à l'article précédent.

Les articles suivants commentent l'œuvre scientifique de Wright et son influence sur Kant:

[3] De Morgan. *Phil. Mag.* (3), **32**, 241, 1848.

[4] Sampson, R. A. *Proc. Soc. Antiq. Newcastle upon Tyne*, **8**, jan. 1895 à déc. 1896.

[5] Hastie, W. «Kant's Cosmogony». James Maclehose and Sons, Glasgow. 1900.

[6] Paneth, F. A. *Durham University Journal, N.S.*, **2**, 111, 1941; réimprimé sous forme un peu abrégée dans *The Observatory*, **64**, 71, 1941.

On trouvera des résumés étendus de la biographie de Wright et de ses livres dans:

[7] Gushee, Vera. *Isis*, **33**, 197, 1941. L'authenticité du portrait qui y est ajouté paraît douteuse.

LIVRES PUBLIÉS PAR THOMAS WRIGHT

«*Pannauticon*». 1734. D'après le biographe de Wright, ce serait un traité sur la navigation, patronné par le ministère de la Marine et publié au moyen de souscriptions. Il est étonnant cependant qu'on n'ait pu en retrouver un seul exemplaire, ni même la trace dans aucune bibliothèque.

«*The Universal Vicissitude of Seasons*». 1737. Il semble qu'il n'en existe qu'un seul exemplaire, devenu propriété de la bibliothèque de l'université de Durham depuis 1948. Les diagrammes et les ornements sont dessinés et coloriés à la main, de sorte que ce curieux ouvrage, malgré l'emploi de plaques, ressemble plus à un manuscrit qu'à un livre imprimé.

«*The Use of the Globes*». 1740. Une brochure écrite à la demande de John Senex, F.R.S., et destinée à servir de mode d'emploi de ses globes terrestres et célestes. Elle est rare aujourd'hui.

«*Clavis Coelestis, being the Explication of a Diagram entituled a Synopsis of the Universe: or, the Visible World Epitomised*». 1742. Introduction élémentaire à l'astronomie, avec trois grandes planches comprenant chacune plusieurs figures. Ces planches sont si grandes que dans certains exemplaires elles ont été découpées en feuilles in-quarto; dans d'autres elles sont fort abîmées et quelquefois elles manquent.

«*Louthiana*». 1748. Descriptions des monuments anciens dans le comté irlandais de Louth. Les illustrations, dont certaines sont signées de Wright, révèlent aussi bien ses qualités que ses limitations artistiques. Beaucoup de bibliothèques en possèdent des exemplaires.

«*An Original Theory, or New Hypothesis of the Universe*». 1750. L'œuvre principale de Wright et le sujet de cet article. Les bibliothèques de Durham en possèdent quatre exemplaires; il y en a quelques-uns ailleurs.

«*The Longitude Discover'd without use of Graduated Instruments*». 1773. D'après Miss Gushee la bibliothèque municipale de New-York en conserve un exemplaire.

Deux des manuscrits de Wright ont été confiés au British Museum: le «Journal», qui a servi de base principale à la biographie du *Gentleman's Magazine*, et «Observations on . . . Remains of Antiquity . . . taken on a tour through England». British Museum Add. MSS. 15627 et 15628.

La Royal Society de Londres possède quelques lettres de Wright sur des questions astronomiques et archéologiques; la Royal Astronomical Society de Londres possède également une lettre calligraphiée, «To their Excellencies the Lords Justices of the Kingdom of Ireland», dans laquelle Wright offre de dresser une carte précise des ports, rochers, etc. de la côte d'Irlande, pour faciliter la navigation.

Les couleurs du ciel diurne

JAMES PATON

L'auteur cite la loi de dispersion de la lumière et explique le bleu profond du ciel à un angle de 90° du soleil. Les effets de la poussière et des gouttelettes d'eau sont étudiés, ainsi que ceux créés par les nuages. Il énonce la théorie de l'arc-en-ciel et explique la formation des halos. Un certain nombre de diagrammes accompagnent les explications et des planches en couleurs illustrent la description des phénomènes de coloration au lever et au coucher du soleil.

Ce n'est que vers la fin du siècle dernier que l'on a pu expliquer de manière satisfaisante pourquoi le ciel est bleu. Selon Léonard de Vinci, c'est le résultat du mélange de l'obscurité de l'espace et de la lumière solaire blanche, réfléchi par l'atmosphère. Newton, pensant aux couleurs que présentent les lames minces, attribue le phénomène à des interférences entre rayons réfléchis à l'entrée et au fond de minuscules gouttelettes. Ce n'est qu'après que Brücke et plus tard Tyndall eurent démontré expérimentalement qu'un groupe de particules transparentes en suspension paraît bleu sous l'effet d'une lumière blanche, que Lord Rayleigh fit la preuve théorique que la lumière diffusée par les molécules de l'atmosphère «pourrait à elle seule nous présenter un ciel bleu à peine plus sombre que celui que la nature nous offre». Il démontra en fait que l'intensité de la lumière diffusée par une seule particule de petite dimension comparée à la longueur λ de l'onde lumineuse varie comme l'inverse de λ^4, de sorte que la lumière céleste, étant de la lumière solaire diffuse, contient toutes les couleurs du spectre, dont le violet et le bleu, ayant une longueur d'onde moindre, manifestent une plus grande intensité (figure 1, première courbe, en haut). Le soleil paraît sensiblement plus rouge à l'aube et à son coucher parce qu'alors sa lumière, passant à travers une couche d'air d'épaisseur maximum, perd la plupart de ses plus courtes ondes.

Quand l'ombre d'une large nappe de nuages tombe sur le trajet de la lumière venant d'un ciel clair, proche de l'horizon (figure 2), il en résulte un surcroît de diffusion qui modifie à tel point la proportion d'intensité entre les différentes couleurs que le ciel au loin peut paraître orangé ou, plus rarement, vert. Les courbes de la figure 1 montrent qu'à mesure qu'augmente la distance OA, la diffusion proportionnellement accrue des ondes plus courtes porte le sommet du bleu au vert et finalement à l'orangé, ce dernier nécessitant un trajet d'environ 48 km. De même les premiers rayons à reparaître à l'horizon après une éclipse solaire totale sont orangés.

Tandis que les petites particules diffusent de préférence le violet et le bleu avec une intensité que n'affecte presque pas la direction des rayons, celles d'un plus fort volume, c'est-à-dire les gouttes d'eau et les grains de poussière plus gros, diffusent toutes les couleurs avec la même intensité mais en direction se rapprochant de celle des rayons incidents (figure 3): cette particularité explique la clarté et la blancheur accrues du ciel vers le soleil. C'est à une distance angulaire d'environ 90° du soleil que le ciel est le plus sombre et le bleu plus profond, car seules les plus petites particules, surtout les molécules, peuvent efficacement diffuser la lumière dans cette direction (cliché 12). D'autre part le ciel devient plus blanc et brillant près de l'horizon (clichés 7 et 8) tant à cause de la plus grande concentration des particules plus volumineuses près du sol que parce que dans cette direction les rayons traversent une plus grande épaisseur d'air. Sans doute chaque molécule lointaine diffuse le bleu et le violet de préférence, mais par contre ces couleurs sont en grande partie éliminées dans le trajet jusqu'à l'observateur, de sorte que la lumière devient de plus en plus blanche (figure 1).

Tandis que la présence d'une fine poussière rend le ciel plus bleu, et plus vif le rouge des couchers, notamment dans les régions industrielles et après les éruptions volcaniques (cliché 10), les plus grosses particules blanchissent le bleu, et dans le cas des particules de fumée, y ajoutent leur propre nuance: la preuve de ces effets étant le retour au bleu profond à chaque fois qu'une grosse ondée a précipité les particules à terre. La présence en grand nombre dans les couches inférieures de l'atmosphère de grains de poussière ou de gouttelettes d'eau révèle le trajet des flèches lumineuses à la lisière des nuages ou des ombres

1

2

3

4

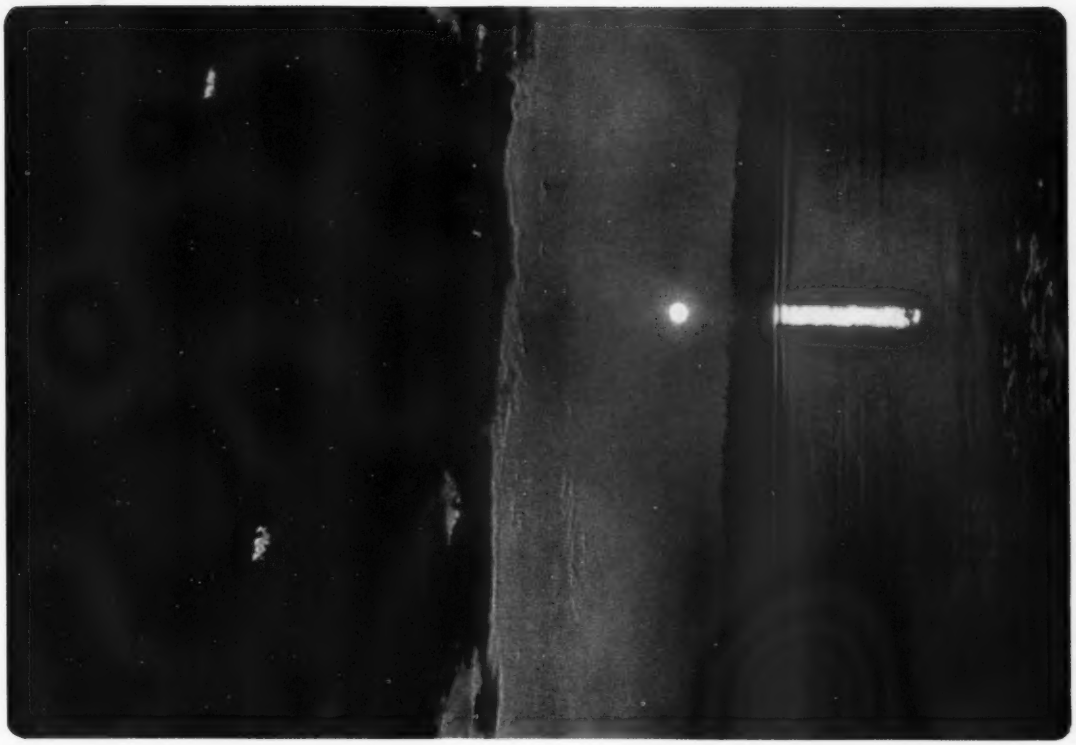
CLICHÉS 1–4 – *Le ciel à l'est quand le soleil se couche:* (1) *au moment du coucher,* (2) 7 *minutes après,* (3) 15 *minutes après.* (4) 21 *minutes après. Noter l'ombre ascendante de la terre, la courbe crépusculaire, et les rayons du «second crépuscule» (formés par des nuages à l'horizon occidental). Les nuages à l'horizon oriental restent éclairés bien qu'au premier plan l'obscurité se soit faite.*

CLICHÉ 5 – *L'effet des grosses particules en suspension dans l'atmosphère. Glen Lednock, Perthshire, par temps clair.*

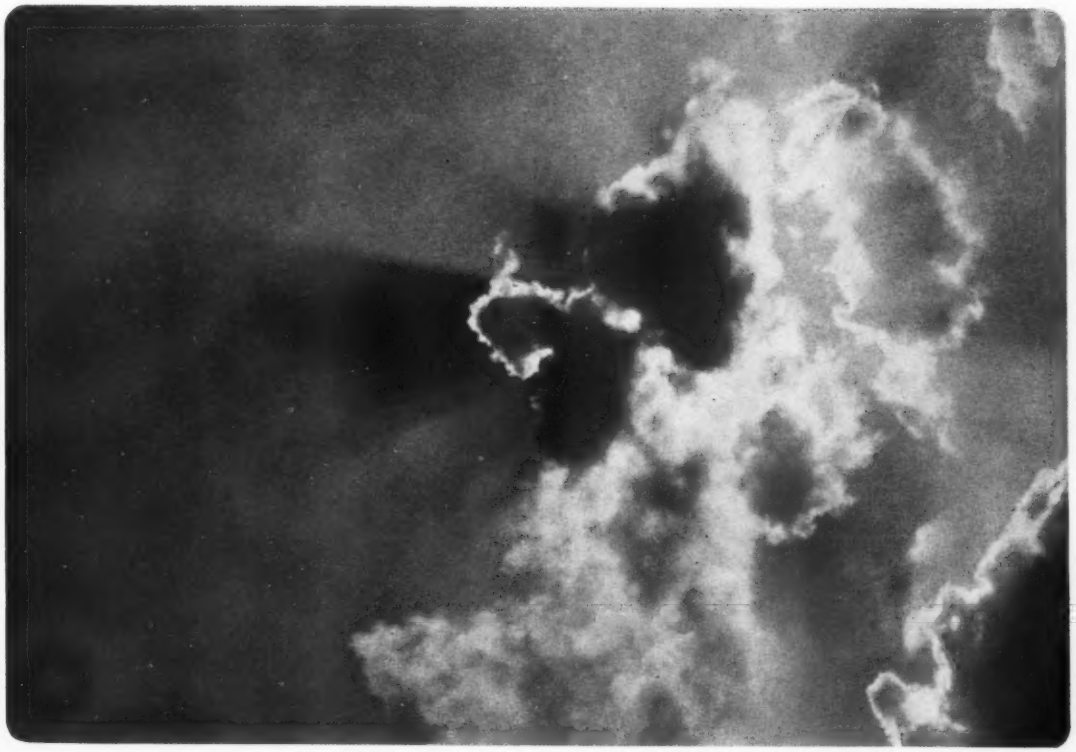
CLICHÉ 6 – *Le même, par temps brumeux.*

CLICHÉ 7 – *Lumière et ombres dans les cumulus. Glen Feshie, Inverness-shire.*

CLICHÉ 8 – *Le bleu «descend» devant les lointaines hauteurs. Strathearn, Perthshire.*



CLICHÉ 10 – *L'anneau de l'évêque, photographié au Canada quelques jours après une éruption volcanique en Islande.*



CLICHÉ 9 – *Rayons crépusculaires.*

11

12

13

CLICHÉS 11–14 – *Le ciel à l'ouest au crépuscule. Dernières lueurs:* (11) 1 *minute avant le coucher;* (12) *le coucher;* (13) 18 *minutes après;* (14) 30 *minutes après.*

14

des montagnes (cliché 9): ces rayons sont évidemment parallèles, mais la perspective fait qu'ils semblent disposés en éventail et converger vers le soleil.

Les objets vus à travers les gouttelettes d'eau en suspension qui constituent la brume paraissent plus blancs (clichés 5 et 6), la brume elle-même étant plus apparente en direction rapprochée de celle du soleil (figure 3).

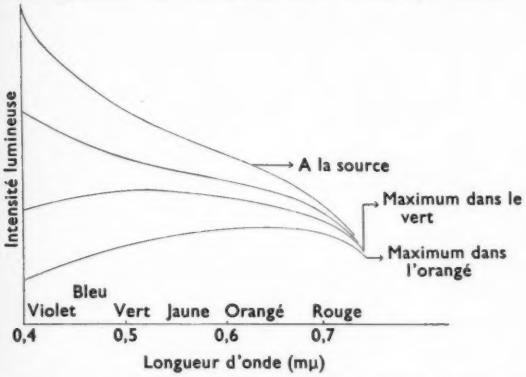


FIGURE 1 – *Changements dans la composition de la lumière diffusée par un faible volume d'air sur un parcours de plus en plus long. La première courbe en haut représente la composition près de l'élément diffuseur. Les suivantes montrent les effets d'une diffusion accrue, de plus en plus loin de la source. La dernière donne une idée approximative des variations sur un trajet d'environ 48 km.*

Les gouttes d'eau d'un cumulus forment une masse si dense que la surface du nuage est un réflecteur presque parfait dont les parties éclairées directement par le soleil sont d'une blancheur éblouissante tandis que celles non-éclairées sont gris foncé (cliché 7).

Quand le ciel est serein et débarrassé des grosses particules, le bleu s'interpose entre les hauteurs lointaines et l'observateur (cliché 8): le bleu diffusé par l'atmosphère donne sa teinte à la lumière qui vient du fond sombre et permet d'évaluer les distances en comparant les intensités du bleu des horizons lointains. Il y a à cela un effet complémentaire, difficilement observable et par conséquent peu connu: quand la visibilité est parfaite, les sommets couronnés de neige et les cumulus paraissent plus jaunes plus ils sont éloignés: dans ce cas, la forte lumière venant du fond éclairé perd tout son violet et son bleu dans le trajet jusqu'à l'observateur, mais cette perte de bleu est faible au regard de l'intensité totale. Quand le fond lointain est sombre la majeure partie de la lumière qui arrive à l'observateur provient de la diffusion atmosphérique.

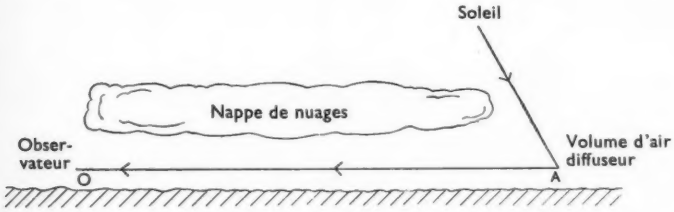


FIGURE 2 – *Le trajet de la lumière à partir d'un ciel serein à l'horizon jusqu'à l'observateur, en passant à travers une région non-éclairée (assombrie par un nuage) de l'atmosphère.*

Descartes a été le premier à indiquer la géométrie de l'arc-en-ciel en prouvant que si un rayon de lumière solaire, pénétrant dans une goutte de pluie, est réfléchi au fond, la direction du rayon émergent a pour limites celle du rayon qui tombe perpendiculairement à la goutte et celle du rayon de déviation minimum. En fait, le rayon réfléchi une fois dans cette dernière direction présente un spectre d'une concentration telle que l'observateur placé entre le soleil, auquel il tourne le dos, et un nuage qui se résout en pluie aperçoit un arc (l'arc principal), qui fait partie d'un cercle dont le rayon angulaire est de 42° et dont le centre se trouve sur la normale menée du soleil au plan de l'arc. Etant donné que la lumière qui a été réfléchie une fois ne peut venir à l'observateur que de la partie du ciel qui se trouve au-dessous de l'arc, la zone d'au-dessus est généralement plus sombre que celle d'au-dessous. Ce contraste est toutefois

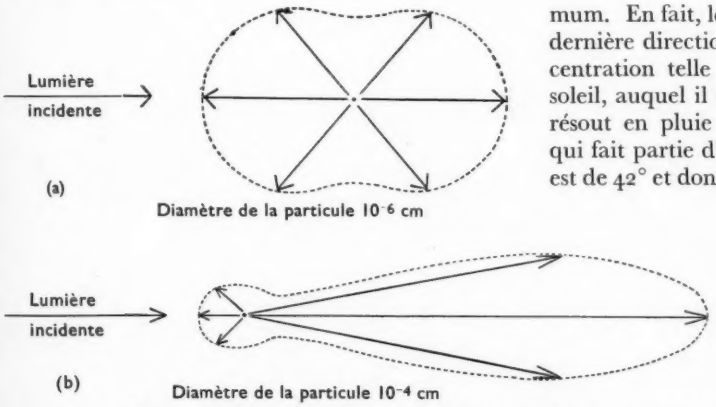


FIGURE 3 – *L'influence de la direction sur le degré d'intensité de la lumière diffuse.*

CLICHÉ 15 – *Arcs-en-ciel principal et secondaire. Noter la zone sombre entre les arcs.*

CLICHÉ 16 – *Halo. Le cercle de 22°.*

(Clichés diachromies Kodachrome par John F. Steljes.)

souvent dissimulé par la lumière réfléchie du fond nuageux.

La lumière réfléchie deux fois à l'intérieur de la goutte produit de même un arc de 51° de rayon (l'arc secondaire) avec les couleurs du spectre dans un ordre opposé. La lumière de la deuxième réflexion ne peut arriver à l'observateur que de la zone qui se trouve au-dessus de l'arc, de sorte que si le fond nuageux réfléchit faiblement, la zone qui se trouve entre le bord supérieur rouge de l'arc principal et le bord inférieur, rouge également, de l'arc secondaire est notablement plus sombre que les autres parties du ciel (cliché 15). Les autres arcs qui paraissent au-delà du violet, soit au-dessous du principal soit au-dessus du secondaire, sont des bandes d'interférence dont la largeur et l'espacement dépendent du diamètre des gouttes de pluie. Les couleurs de l'arc-en-ciel s'intensifient à mesure que grossissent les gouttes.

Les cristaux de glace hexagonaux des cirrus et des cirro-stratus fournissent à la lumière solaire un grand nombre de trajets possibles et peuvent ainsi déterminer des concentrations de lumière en cercles, arcs et faux-soleils, qu'englobe le terme générique de «halos». Certains, comme le petit cercle de 22°, sont très communs; d'autres sont très rares. Du moment que le cristal en forme d'hexagone droit réfracte la lumière comme un prisme dont l'angle réfracteur est de 60°, le trajet symétrique subit une déviation minimum de 22°, l'indice de réfraction de la glace pour la lumière jaune étant de 1,31. A mesure que chaque cristal pivote vers la position de déviation minimum et au-delà, la direction de la lumière émergente change très lentement, de sorte qu'il y a toujours un plus grand nombre de cristaux projetant de la lumière dans cette direction que dans d'autres. Ainsi donc, dans un assemblage fortuit de cristaux, la lumière se concentre dans la direction du rayon de déviation minimum, c'est-à-dire, à une distance angulaire de 22° par rapport à la direction du soleil, et forme un cercle de 22° de rayon dont le bord intérieur est rouge, car le rouge est le moins sujet à déviation. En raison principalement de variations de déviation causées par l'inclinaison des cristaux, d'autres couleurs disparaissent par superposition, et il ne reste habituellement qu'une pâle lueur autour du bord rouge (cliché 16). Attendu que l'observateur ne perçoit aucune lumière venant de l'intérieur du cercle, cette partie présente une zone plus sombre que celle qui entoure le cercle. Il arrive toutefois que la lumière solaire diffuse, plus forte dans le voisinage du soleil, dissimule cette particularité.

Les gouttelettes d'un voile de brume qui cache le soleil ou la lune forment souvent, par diffraction, une «couronne» au bord d'un brun rougeâtre, dont le diamètre ainsi que la coloration dépendent de la dimension des gouttelettes. L'iridescence observée parfois sur les nuages éloignés du soleil de près de 30° fait probablement partie d'une couronne à laquelle un groupe de minuscules gouttelettes de grosseur uniforme a donné naissance. Il arrive qu'après une éruption volcanique le soleil reste longtemps entouré d'une auréole d'un brun rougeâtre: c'est l'«anneau de l'évêque» (cliché 10) ainsi appelé parce que le premier à l'observer fut l'évêque d'Honolulu après l'éruption du Krakatoa (1883).

C'est au coucher et au lever du soleil que le ciel se pare des couleurs les plus éclatantes. A l'heure du coucher par temps favorable monte à l'orient l'ombre de la terre, un segment bleu sombre, au-dessus duquel s'étagent les bandes colorées du «second crépuscule» (clichés 1, 2, 3 et 4): pourpre, cramoisie, orangée, jaune, verte et la dernière en haut, bleue, qui vont se fondre dans la clarté diffuse de la lumière plus vive du couchant. Quarante minutes environ après le coucher, la courbe crépusculaire s'est effacée, et le second crépuscule s'est également évanoui. Les bandes du second crépuscule s'expliquent du fait que la lumière qui éclaire le ciel à l'orient devient graduellement plus rouge, par diffusion, à mesure que son trajet s'abaisse dans l'atmosphère. A l'ouest la partie supérieure de la lueur jaunâtre ou parfois vermeille qui entoure le soleil descendant vers l'horizon (figure 3) reste visible près d'une demi-heure après la disparition de l'astre (clichés 11, 12, 13 et 14) passant lentement au rosé puis au blanc bleuté. Au cours de cette dernière phase, environ une demi-heure après le coucher du soleil, une vive lueur purpurine brille quelques instants, d'un effet saisissant quand elle éclaire la façade occidentale des hauts bâtiments: le phénomène a été attribué à la présence, à une hauteur variant entre 10 et 20 km de fines poussières dont les couches inférieures sont baignées de lumière rouge, tandis que leurs couches supérieures reçoivent une lumière encore fortement teintée de bleu ayant traversé une zone d'air moins dense.

Minnaert, dans «*Light and Colour in the Open Air*». G. Bell and Sons Limited, Londres. 1940, donne une description complète et remarquable des phénomènes optiques de l'atmosphère.

Les parasites et la guerre

GEOFFREY LAPAGE

Le déchaînement et la lutte des maladies causées par les parasites sont étudiés ici, avec leurs effets paralysants sur les forces armées dans la guerre moderne. Les parasites vivant dans le corps humain qui sont transmis par les mouches et les moustiques comprennent le parasite malarien, l'amibe qui donne la dysenterie amibienne, l'axaride qui cause la trichinose et la filaire qui produit avec le temps l'éléphantiasis. Les parasites externes, poux et vermine transmettent les rickettsies qui donnent le typhus épidémique et la fièvre des tranchées.

Depuis les temps les plus reculés, des parasites de tout genre, bacilles, virus ainsi que des animaux parasitaires tels que les amibes — qui engendrent la dysenterie amibienne — ont puissamment influencé le cours des guerres. Dans tous les pays chauds et surtout aux tropiques, les chefs militaires doivent tenir compte de l'intervention de certains parasites capables de contrecarrer et de faire échouer les plans militaires.

Les parasites de la malaria sont peut-être les plus puissants des animaux parasitaires qui attaquent l'homme. Déjà bien connue, et souvent mortelle du temps d'Hippocrate, la malaria provoque toujours tant de souffrance et de misère que certains experts la considèrent comme la pire des maladies de l'homme.

Il y a toute une littérature sur les méfaits de la malaria, le mauvais état chronique qu'elle engendre, le nombre de gens qu'elle tue et son aptitude à ruiner progressivement la vigueur de nations entières.

La malaria est actuellement très répandue dans les zones tropicales et subtropicales ainsi que dans bien des zones tempérées, et ce n'est qu'aujourd'hui que les moyens de contrôle dus à la science moderne lui font lâcher pied. Ces mesures ne se bornent pas à attaquer les parasites dans le corps humain; elle permettent également d'éliminer les moustiques porteurs de la malaria dans de grandes étendues de pays d'accès difficile. Nous sommes certainement bien près de contrôler cette maladie dévastatrice, surtout depuis la découverte de la paludrine.[1]

Si à l'avenir le monde est délivré du péril de la malaria, il n'y a pas de doute que jusque très récemment encore elle n'a pas cessé d'être un fléau et qu'elle représente pour les chefs militaires un problème primordial dans les régions où elle règne. Il suffira d'en donner quelques exemples des guerres récentes. Pendant la première guerre mondiale, lorsque les Alliés étaient en Macédoine, la malaria leur fit subir de lourdes pertes, ainsi qu'aux Allemands; ceux de nos lecteurs qui ont servi dans cette région s'en souviennent certainement. En 1916, près d'un quart du corps britannique de Macédoine, fort de 123 000 hommes, fut hospitalisé avec la malaria, et les troupes françaises eurent des pertes équivalentes. En 1917 et 1918 près de la moitié du corps britannique était hors d'action à cause de la maladie. L'armée allemande était atteinte au même point, et les opérations militaires devinrent impossibles. En 1916 le corps expéditionnaire en Afrique Orientale, de 58 000 hommes environ, fut pratiquement mis hors de combat, près de 50 000 ayant été hospitalisés cette année-là. En 1917, 72 000 hommes furent hospitalisés avec la malaria, et 499 en moururent. Enfin, en Irak aussi, la malaria réduisit les effectifs de façon très sensible.

Pendant la deuxième guerre mondiale, la malaria restait toujours un danger pour les troupes. Le Dr Hamilton Fairley, au cours d'un article pour *The Fight against Disease*, l'organe de la Research Defence Society (1947), écrivait que pendant 4 mois à la fin de 1942 et au début de 1943, environ 90% des effectifs employés dans le sud-ouest du Pacifique étaient atteints de la malaria. Il cite d'ailleurs des chiffres qui prouvent qu'au début de la guerre contre les Japonais, en 1942–3, les victimes de la maladie étaient de 5 à 30 fois plus nombreuses que celles des combats. Toutes les troupes en étaient atteintes, les Britanniques et les Hindous en Birmanie, les Américains à Bataan et Guadalcanal, et les Australiens en Nouvelle-Guinée et en Nouvelle-Bretagne. En plus de la malaria, les troupes opérant dans ces régions souffraient également de la dysenterie bacillaire, de la dengue, du typhus de la brousse et de diverses maladies de la peau; l'importance de la malaria est illustrée par le fait que 60,8% des malades parmi les troupes australiennes de

[1] *Endeavour*, 5, 65, 1946.

Nouvelle-Guinée entre septembre 1943 et février 1944 en étaient atteints. Bien que les troupes japonaises en fussent atteintes aussi, la malaria devenait si menaçante pour les Britanniques et leurs alliés, que les recherches préconisées par le Dr Fairley reçurent une haute priorité. A la suite de ce travail le péril de la malaria fut écarté.

Les parasites de la malaria appartiennent au groupe d'animaux unicellulaires appelés protozoaires, parmi lesquels on trouve l'amibe (*Entamoeba histolytica*) qui cause la dysenterie amibienne. Cette maladie qu'il faut bien distinguer de la dysenterie bacillaire causée par des bactéries, est également l'ennemie acharnée des forces armées. Les êtres humains sont infectés par des kystes minuscules de ces amibes, qui, éliminées par les matières fécales, peuvent contaminer l'eau potable et les vivres, ou y être transportées par les mouches et autrement. Des mesures efficaces d'hygiène contribueront donc pour une large part à la suppression de cette maladie. C'est l'absence de ces mesures qui provoqua une telle fréquence de la dysenterie amibienne, et d'autres maladies parasitiques aussi sans doute, parmi les troupes de l'Axe en Egypte au cours de la dernière guerre. Cet état de choses est d'autant plus extraordinaire que l'entraînement très complet de l'Afrika Korps en vue de la guerre dans les pays chauds comportait des instructions très détaillées sur les dangers des maladies parasitiques. Dans le sud-est de l'Asie il y eut environ 12% de cas de dysenterie amibienne chez les Alliés, mais dans le sud-ouest du Pacifique il y en eut moins.

Si les parasites de la malaria exercent de tels ravages dans le corps humain, c'est surtout parce qu'ils peuvent s'y multiplier comme les bactéries après y avoir été introduits par un moustique. Ils peuvent d'ailleurs tout aussi bien se multiplier dans le corps du moustique lui-même. Une seule piqûre de moustique injectera donc dans le sang assez de parasites de la malaria pour que ceux-ci, en se multipliant, provoquent une infection grave capable de vaincre très vite les défenses naturelles de l'organisme. Par contre, les vers parasites (Ascaris), dont certains constituent un danger sérieux pour les opérations militaires, ne se multiplient pas de la même façon et leurs effets se font sentir beaucoup plus lentement; ces effets peuvent devenir graves cependant, si un grand nombre de vers arrive à s'introduire dans le corps. Les espèces de vers les plus importantes dont ont souffert les troupes en action sont la trichine (*Trichinella spiralis*), l'ascaris lombricoïde de l'intestin grêle et les filaires.

La trichine, qui produit la trichinose, s'introduit dans l'organisme lorsqu'on mange du porc cru qui contient des larves de ce ver, ou du porc dont la cuisson a été insuffisante pour les annihiler. Ainsi, un petit groupe de commandos allemands, en opérations près de la frontière germano-polonaise en 1939–45, qui s'était arrêté pour passer la nuit, avait enlevé un porc à un fermier du voisinage. Les hommes mangèrent la viande crue, non seulement parce qu'ils avaient faim, mais aussi parce qu'ils risquaient d'éveiller l'attention s'ils faisaient du feu. Malheureusement pour eux, les muscles du porc étaient infectés de trichines, ce qui est assez courant dans ces régions: la trichinose les mit tous hors d'action.

Plus grave encore pour l'ennemi fut la livraison de porc cru ou mal cuit à un bataillon allemand en action en Norvège. Presque tout le bataillon fut atteint de trichinose et dut être hospitalisé. Un grand nombre d'entre eux avaient envoyé des morceaux de viande à leurs parents et amis en Allemagne, et ceux-ci furent atteints à leur tour. Les autorités eurent par suite à s'occuper de nombreux cas de cette maladie parmi la population civile allemande.

Le lombric de l'intestin (*Enterobius vermicularis*), ce parasite des enfants bien connu dans le monde entier, constitue un danger moindre, mais non négligeable cependant. Ce ver se transmet d'une personne à l'autre par les œufs que la femelle dépose autour de l'anus pendant la nuit; sa sortie provoque un chatouillement intense, de l'agacement et de l'insomnie. Les ouvriers des usines de munitions en Allemagne, entassés dans des abris anti-aériens profonds et déjà très énervés par les bombardements alliés, furent atteints de ces vers: leur inconfort et leur insomnie s'accentuèrent à un tel point que la production des munitions s'en ressentit. Des recherches spéciales furent donc entreprises pour trouver un remède contre l'*Enterobius* et ses conséquences. Parmi les Alliés aussi, il y eut beaucoup de troupes atteintes de ces vers, surtout celles qui, stationnées dans le pays, étaient concentrées dans des zones de défense.

Le Deutéronome nous rapporte que lors du passage de la Mer Rouge, les Israélites étaient harcelés par les «serpents de feu»; c'était probablement le ver de Guinée, cette filaire qui atteignit si sévèrement un grand nombre de soldats d'Afrique Occidentale qu'on dut les réformer. En Extrême-Orient, les vers réduisirent les effectifs en leur infligeant l'oncocercose et la filariose. Les vers de l'oncocercose se transmettent par les mouches des manguiers; ils forment des kystes durs sous

la peau et ailleurs, mais d'ordinaire ils ne provoquent pas de troubles graves. Les vers de la filariose, d'autre part, sont transmis à l'homme par les moustiques; après plusieurs années ils risquent d'engendrer l'éléphantiasis, cette maladie redoutée dans laquelle les membres inférieurs et d'autres parties du corps prennent des proportions énormes. Bien que les soldats atteints de ces vers ne s'en ressentent pas immédiatement, on doit les soigner pour arrêter la marche de cette maladie lente et progressive, et pour empêcher qu'ils ne deviennent des foyers d'infection grâce auxquels les moustiques peuvent propager la maladie à d'autres. D'autre part, les soldats contaminés, en retournant dans leur pays, risquent d'introduire la maladie dans des parties du monde où elle n'existait pas auparavant; sans doute, cela ne peut arriver que dans les régions où l'on trouve les espèces de moustiques capables de transmettre cette maladie.

Le retour de ceux qui portent les parasites de la malaria et d'autres maladies présente le même danger. Il y a en Angleterre, par exemple, surtout le long de la côte qui va de l'East Anglia à l'île de Wight, des moustiques capables de transmettre la malaria: le retour des soldats qui en étaient atteints provoqua des épidémies après la guerre de 1914 en Angleterre et dans d'autres pays d'Europe; après la dernière guerre, grâce aux mesures énergiques prises, il n'y eut aucune épidémie.

Les vers trématodes nuisent généralement moins à la santé des troupes, mais ceux qui portent des ventouses et dont les larves vivent dans les hélices aquatiques pénètrent dans l'organisme par la bouche ou en traversant la peau; ils causent bien des soucis aux autorités militaires. Il faut interdire aux hommes de boire de l'eau souillée par ces parasites, et de s'en servir pour se laver ou même pour se raser; cette eau doit être bouillie au préalable ou désinfectée avec des produits chimiques.

Tous les parasites que nous avons considérés jusqu'ici vivent dans le corps humain, et provoquent eux-mêmes les maladies en question. Il nous reste à envisager encore deux espèces de parasites qui ne causent pas des maladies, mais qui en transmettent la cause. Ces parasites sont les poux de corps, qui transmettent à l'homme la cause du typhus exanthématique ou fièvre des prisons, et les larves des mites qui transmettent le typhus de la brousse. Les poux et les mites se bornent à transmettre la cause de ces maladies. Ce sont des *Rickettsies* qui en sont la vraie cause; ces organismes se situent quelque part entre les bacilles et les virus. Ces deux sortes de typhus, causés par des *Rickettsies*, sont à distinguer des fièvres typhoïdes provoquées par des bacilles.

Le typhus épidémique a de tous temps été une des plaies de l'humanité. Il est probable que certaines des pestes de l'antiquité n'étaient autres que des épidémies de typhus, qui s'attaque surtout à l'homme quand sa santé est affaiblie par la famine ou par les exodes massifs provoqués par la guerre ou par les troubles politiques. Le nom de fièvre des prisons provient de ce que le typhus était très commun dans des prisons sales et insalubres. On ne doit pas le confondre avec le typhus endémique, une maladie semblable mais moins violente causée par une espèce différente de *Rickettsie*; il n'existe que dans des régions restreintes du globe, et se transmet à l'homme par les poux et les puces de rat. C'est pour cette dernière raison qu'il ne se propage pas d'homme à homme et qu'il ne provoque pas d'épidémies.

Le typhus exanthématique, au contraire, se transmet par les poux de tête et de corps (*Pediculus humanus*) et atteint facilement des populations entières. Il s'attaqua aux soldats espagnols qui assiégeaient Grenade, et au 17e siècle il gagna toute l'Europe au cours de la guerre de Trente Ans. La plupart des guerres européennes furent accompagnées de typhus. Une épidémie moderne des plus sévères eut lieu en Serbie en 1915. Au plus fort de l'épidémie, 2500 cas par jour étaient admis aux hôpitaux militaires, et le nombre des malades civils était environ trois fois plus élevé. Il y eut de 30 à 70% de cas mortels, et plus de 150 000 morts en six mois. Au même moment la maladie ravageait également la Pologne. En 1918, après la guerre, une grande épidémie éclata en Roumanie, provoquant la mort de 800 000 personnes; en Russie, de 1919 à 1922, plus de cinq millions de gens furent atteints du typhus.

Lorsque les Italians envahirent l'Abyssinie, ils bénéficièrent d'un avantage sérieux parce qu'ils se débarrassaient des poux alors que les Abyssins ne s'en souciaient point. En 1935, les Abyssins avaient 20 000 cas de typhus, tandis que l'armée italienne en était indemne. Lorsque les Allemands furent chassés de Naples, pendant la guerre de 1939–45, le typhus épidémique y éclata. Les privations alimentaires ainsi que la destruction par les Allemands des installations sanitaires et de la distribution d'eau avaient miné la santé des Napolitains qui devinrent une proie facile pour la maladie. L'emploi énergique de pyrèthre et de DDT, dont on venait à peine de

découvrir les effets, tua les poux et enraya l'épidémie.

Le typhus de la brousse ou plutôt le typhus des mites (pour le distinguer du typhus épidémique propagé par les puces), est propre au Japon, à la Birmanie et aux régions voisines. Il est causé par *Rickettsies* transmis par certains mites apparentées aux aoûtats qui causent des démangeaisons dans divers pays. Cette maladie est connue depuis plus d'un millier d'années et elle porte plusieurs noms tels que tsutsugamushi, fièvre japonaise des rivières, typhus de la brousse et typhus des mites. Les rats, les campagnols et d'autres animaux encore sont les réservoirs de *Rickettsies* d'où les mites vont les transmettre d'homme à homme. Au cours de la dernière guerre cette maladie devint si menaçante pour les troupes de Birmanie qu'il fallut trouver d'urgence les moyens de la combattre, et essayer de préparer un vaccin contre elle. C'est dans ce but que des rats du coton furent expédiés par avion d'Amérique en Angleterre, et qu'un laboratoire complet fut construit en un temps record. Les spécialistes risquèrent leur vie — deux d'entre eux moururent — pour effectuer un travail qui restera un des accomplissements les plus fameux de la guerre; leur vaccin venait d'être mis au point lorsque le Japon capitula. Entre-temps les chercheurs australiens, en se servant de volontaires, avaient trouvé que le phthalate de butyle permettait de détruire efficacement les mites qui transmettent la maladie. En imprégnant de ce produit les chaussettes, les guêtres et guêtrons de toile, les pantalons et les chemises, les mites étaient tuées; l'emploi de ce produit réduisit de 36 à 1 pour mille le nombre annuel des cas en Nouvelle-Guinée.

On pourrait écrire un livre très intéressant sur le rôle joué par les parasites, moins comme agents destructeurs et paralysateurs des armées que comme la cause des changements politiques qui ont amené les guerres. La propagation des parasites ou de leurs hôtes animaux, par les moyens de transport rapides du temps de paix et de guerre — par terre, par mer et par air — est un autre aspect très important de ce sujet. L'un et l'autre s'intègrent dans cette histoire générale fort intéressante concernant l'influence des parasites sur la marche de la civilisation. Si les parasites peuvent entraver et arrêter des guerres, ils peuvent également entraver lourdement les industries, surtout aux tropiques. Certaines des espèces qui s'attaquent aux animaux domestiques, ainsi qu'aux cultures: pommes de terre, blé, orge, betteraves sucrières, etc., peuvent réduire fortement les ressources du monde en aliments essentiels. Les exigences de la guerre nous ont forcés à combattre les parasites avec une énergie et une habileté que n'ont pas encore suscitées la menace qu'ils constituent en temps de paix pour nos industries et nos ressources alimentaires. Pendant la guerre de 1939–45 surtout, les inventions imposées par les circonstances ont été d'une telle richesse qu'elles ont fait de cette période malheureuse une des plus grandes dans les annales de la science.

La culture des algues

E. G. PRINGSHEIM

Cet article étudie les améliorations récentes dans la technique de culture systématique des algues, de l'isolement mécanique d'une espèce choisie et du transfert au milieu de culture. Les algues sont un agent pratique de recherches physiologiques, d'étude de la photosynthèse et autres questions générales; elles constituent de plus une source importante de nourriture pour les poissons et autres animaux. Un appel est lancé pour l'établissement d'un laboratoire d'études à soutien international.

La culture d'algues date de quelque soixante-dix ans. Elle ne résulte pas d'une contribution individuelle à la Botanique, mais s'est développée à partir de sources diverses. L'observation de matériel gardé au laboratoire sans précautions particulières, en utilisant les solutions nutritives employées dans l'étude des plantes supérieures d'une part, l'application des méthodes de la bactériologie d'autre part, contribuèrent à l'évolution d'une technique visant à obtenir une croissance normale des algues dans des conditions artificielles.

Le point le plus important est l'isolement de l'espèce à cultiver, c'est-à-dire l'élimination de tous les autres organismes pour obtenir des cultures pures. Cet isolement est important en ce qu'il nous rapproche d'un contrôle complet des conditions. Les cultures pures ne sont cependant pas toujours nécessaires pour apporter des résultats intéressants, ni ne constituent une fin en soi. Pour recueillir tous les bénéfices possibles, il faut employer un milieu synthétique complètement défini et suivre à l'aide des méthodes analytiques son altération due au métabolisme de l'algue en croissance.

Jusqu'à ces derniers temps, on pensait que les cultures n'étaient propices qu'à des investigations physiologiques. Même dans ce cas, l'emploi des méthodes et des milieux bactériologiques, sans adaptations suffisantes aux besoins des algues, entraîne des déboires; car non seulement il exclut la grande majorité des algues, mais place celles qui peuvent encore croître dans des conditions non naturelles. Le naturaliste algologue ne peut faire usage d'une telle technique qui altère la physionomie des organismes et donc rejette toute culture. Les méthodes calquées sur celles qu'on utilise avec succès pour les bactéries et les champignons combinaient en une seule manipulation, grâce à l'emploi de milieux nutritifs à l'agar, l'approvisionnement en nourriture et l'isolement d'individus qui puissent se multiplier en donnant des colonies homogènes. Mais l'isolement des algues n'est pas aussi aisé que celui de la plupart des bactéries et levures. Dans le matériel utilisé pour l'inoculation, les algues sont beaucoup moins nombreuses que les organismes contaminants et l'agar utilisé pour fixer les algues individuellement à leur place, les séparant les unes des autres, favorise aussi cette contamination. D'autre part beaucoup sont capables de s'étendre au-dessus du substratum et rendent souvent vains les efforts d'isolement.

Il est donc nécessaire de diviser la manipulation en deux temps: isolement mécanique, puis transfert dans des conditions favorables à la multiplication. Autrefois, les algues isolées étaient celles qui croissaient le mieux dans le milieu et c'est seulement quand une espèce prédominait dès le début qu'il était possible d'opérer à coup sûr. Maintenant nous commençons par choisir sous le microscope l'espèce que nous avons l'intention de cultiver et nous la transférons dans un milieu fluide stérile. Dans la majorité des cas, la meilleure méthode pour isoler les algues est de les faire monter dans un tube capillaire et ensuite de les en rejeter au moyen d'un capuchon de caoutchouc. Grâce à cette technique, il devient possible d'analyser un mélange complexe d'espèces en transférant chacune d'elles dans un vase à culture différent.

Le plein intérêt de cette séparation mécanique n'est naturellement atteint que si les individus isolés sont placés dans les conditions propices à leur multiplication; il est donc nécessaire de considérer leurs besoins écologiques. Les espèces des lacs, et plus généralement des eaux à basse concentration en matières nutritives, se développent mieux dans des solutions très diluées de sels minéraux contenant tous les éléments chimiques essentiels. Celles des eaux marécageuses et plus ou moins polluées demandent une plus grande quantité de substances nutritives qu'il ne peut en

être dissous dans un milieu aqueux. Dans l'habitat naturel ces substances sont fournies principalement par les dépôts de boue du fond; dans les cultures, on peut réaliser ces conditions en ajoutant une petite quantité de terre destinée à fournir les substances en partie organiques contenues dans la boue. On détruit, par un chauffage préalable de la terre, les germes capables d'entrer en compétition, mais on ne peut passer à l'autoclave sous peine d'altérer gravement l'effet favorable à la croissance. De nombreuses variantes sont possibles en vue d'imiter les conditions naturelles et on peut actuellement cultiver presque toutes les algues.

De telles expériences de cultures conduisent, si elles sont couronnées de succès, à une grande quantité d'algues présentant un état physiologique satisfaisant et homogène à partir desquelles on peut réaliser de nouvelles cultures exemptes d'autres organismes. Nous n'avons pas encore pu satisfaire, en culture pure, aux besoins de chaque espèce d'algue sous le rapport du *p*H, des éléments chimiques et des vitamines. Beaucoup d'espèces prospèrent en cultures dans l'eau additionnée de terre, mais ne peuvent donner une croissance identique en milieu exempt de bactéries; nous ne sommes qu'au début d'un développement encore plus vaste de la culture des algues.

Dans la nature, les peuplements biologiques sont toujours complexes, ce qui rend inévitable l'interaction des différents organismes. On ne pourra donc jamais tracer une description écologique exacte si l'on restreint l'étude à quelques groupes taxonomiques, — par exemple les bactéries et les champignons, en laissant de côté les algues et les protozoaires. C'est justement pour se rapprocher davantage d'une microbiologie générale basée sur une connaissance écologique totale que les méthodes de culture des algues (ainsi que celles des flagellés et des ciliés) ont reçu de nouveaux perfectionnements.

Le programme des recherches sur les cultures d'algues est aussi bien théorique que pratique. Il comprend quelques problèmes généraux plus faciles à résoudre en utilisant les algues et d'autres qui se rapportent spécifiquement à celles-ci. Ainsi on peut penser pour étudier l'organisation osmotique des cellules végétales aux grandes cellules d'*Hydrodictyon*. Mais s'il s'agit d'étudier la formation des colonies d'*Hydrodictyon* et la manière dont les cellules s'assemblent pour former de nouveaux réseaux on ne peut, naturellement, s'adresser qu'à ce matériel. Dans les deux cas, il est plus avantageux d'avoir à sa disposition des algues en bon état physiologique durant toute l'année.

L'utilisation des algues dans l'étude de la photosynthèse nous fournit un exemple très net de recherches de grande importance car le système chlorophyllien des plantes est pratiquement le seul appareil qui fournisse les substances organiques essentielles à la vie. Des Chimistes et des Physiciens se sont joints aux Physiologistes dans ces recherches sur la photosynthèse et le progrès déjà accompli est immense. Les algues sont particulièrement favorables à ce travail, car elles fournissent un matériel cellulaire homogène, facile à manier. De plus les algues ne sont pas seulement mieux adaptées à certains buts que d'autres plantes vertes, mais la photosynthèse particulière de certaines algues attire aussi l'attention des Physiologistes. Alors que le système pigmentaire de la plupart des algues vertes est identique à celui des plantes à fleurs, des fougères et des mousses, d'autres groupes possèdent des pigments différents, par exemple les algues brunes et rouges.

Pour étudier ces pigments et leurs propriétés physiologiques on a compté jusqu'à ces derniers temps sur les pullulations naturelles occasionnelles. La récolte n'est pas facile et le mélange avec d'autres algues à pigments différents est inévitable. Les cultures, d'importance réduite au début, mais déjà pratiquées maintenant sur une échelle gigantesque apportent la solution de ces difficultés. Les cultures nous permettront aussi d'atteindre d'autres constituants cellulaires des algues, par exemple des huiles spéciales (peut-être précieuses), des sucres et des polysaccharides peu connus et de nouvelles vitamines.

En comparant les quantités de substances organiques respectivement photosynthétisées par les moissons traditionnelles et les algues et laissant de côté la valeur nutritive vis-à-vis des Hommes et du bétail, on arrive au même ordre de grandeur. Dans les deux cas, 1% seulement de l'énergie lumineuse est utilisée si bien que la marge d'amélioration possible est considérable.

Ce sont généralement les facteurs externes et non la nature même du système photosynthétique qui limitent la production. Sans doute, un climat plus chaud et plus ensoleillé que celui des Iles Britanniques, celui des Antilles, par exemple, serait essentiel dans une telle entreprise. D'autre part, ce n'est que dans les régions industrielles où le gaz carbonique constitue un sous-produit abondant, qu'on peut utiliser la fertilisation par ce gaz sur laquelle on fonde de sérieux espoirs.

Pour réaliser la production de grandes quantités de petites algues, il nous faut acquérir davantage de connaissances sur les conditions de nutrition

nécessaires à une multiplication abondante. On peut utiliser ensuite ces connaissances, pour mettre au point une technique perfectionnée à grande échelle. Les corps chimiques utilisés pour les cultures expérimentales peuvent se révéler trop coûteux à fournir en quantité suffisante pour des cultures industrielles; d'autre part, des produits impurs peuvent être toxiques. On doit s'attendre à beaucoup de difficultés imprévues si l'on ne se base pas sur des études préliminaires appropriées.

Les difficultés à prévoir sont: l'invasion par d'autres organismes, les obstacles au maintien continu des algues cultivées en bon état de croissance, l'efficacité de la récolte et le choix des formes d'algues les plus appropriées. Ce dernier point dépend beaucoup de ce qu'on entend retirer des algues. *Chlamydomonas* et *Tribonema* utilisées en Allemagne (Göttingen, Essen), sont précieuses pour la production de corps gras.

Il est dès maintenant évident que les mélanges de sels minéraux habituellement employés ne suffisent pas dans tous les cas à assurer une croissance continue, mais qu'il faut y ajouter certains corps chimiques à très faible concentration. Il n'est pas facile de fournir ces sels aux concentrations optima lesquelles sont modifiées par précipitation mutuelle, par le déroulement du métabolisme de l'algue et les changements de *p*H en rapport avec celui-ci. De plus, dans beaucoup de cas, la vitesse maximum de multiplication ne peut jamais être atteinte dans des solutions minérales, dans des conditions contrôlées, la multiplication demandant à la cellule une synthèse lente de composés organiques indispensables. On peut alors accroître beaucoup la vitesse de croissance en ajoutant des substances appelées facteurs de croissance.

Dans la nature, ces facteurs de croissance sont produits par d'autres organismes et jouent un rôle important dans les relations mutuelles entre les membres d'une association écologique. L'apparition ou la disparition soudaine d'un organisme semble résulter de l'altération de l'équilibre entre les membres de l'association. On peut démontrer expérimentalement que des substances produites par des bactéries ou des champignons favorisent la croissance de certaines algues. Dans d'autres cas, l'influence est défavorable, soit à cause de la compétition pour les substances nutritives, soit par production de composés toxiques, appelés antibiotiques s'ils sont de nature chimique complexe et spécifique. On discute encore sur la production possible d'antibiotiques par les algues. Mais on sait qu'elles peuvent contenir des poisons dans le cas de certaines *Myxophyceae* et *Cryptomonadineae*.

Un organisme exerce souvent aussi une influence favorable sur un autre en lui fournissant des substances nutritives. Une diastase peut faire défaut au second, lui empêchant de scinder une molécule en produits assimilables. Dans la nature la scission des protéines, par exemple, s'accomplit en général en plusieurs étapes réalisées par différents microorganismes. Les algues bénéficient souvent d'un des produits intermédiaires et l'on doit s'attendre à une multiplication surprenante et soudaine quand on leur fournit de telles substances. De même la décomposition des polysaccharides qui se fait spécialement en anaérobiose, dans les dépôts du fond des eaux tranquilles, donne naissance à des substances favorisant le développement de beaucoup d'algues. Au total, les hexoses, c'est-à-dire les sucres simples, ne jouent pas un rôle aussi important que celui qui leur avait été attribué par les anciens auteurs. Il se forme plus généralement des acides gras, spécialement de l'acide acétique, utilisables par les algues et rapidement métabolisés.

En pratique, on peut provoquer le développement des algues qui croissent mieux en présence de matières organiques, en ajoutant au milieu de culture de l'extrait de levure ou des mélanges analogues. Pour la recherche des besoins en vitamines, nous dépendrons de hasards heureux tant que nous ne disposerons pas de milieux strictement synthétiques. Ces milieux ne doivent contenir que des composants d'individualité chimique connue, de manière à pouvoir contrôler rapidement la solution totale. Encore plus éloignés sommes nous des expériences idéales de nutrition dans lesquelles on suivrait le destin de chaque substance à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule vivante. Pour suivre cette voie les méthodes chimiques ordinaires ne seront pas toujours suffisantes; il faudra recourir, en plus, aux tests physicochimiques, par exemple à ceux qui utilisent des éléments chimiques isotopes (carbone, phosphore) actuellement très précieux. Les cultures pures d'algues sont alors indispensables.

Les composés organiques ne sont en général utilisés que par les espèces des endroits riches en matière en décomposition, c'est-à-dire un grand nombre de flagellés et d'autres algues unicellulaires. Pour la majorité des formes supérieures, ces composés organiques sont fournis par leur propre photosynthèse. Ces différences sont décisives vis-à-vis des niveaux écologiques des diverses algues. On ne peut cependant en toute sécurité

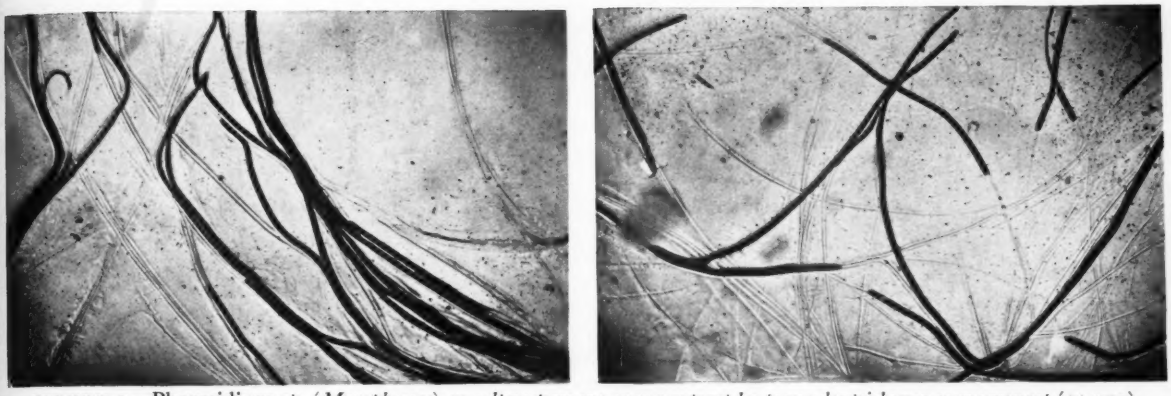


FIGURE 1 – Phormidium *sp.* (*Myxophyceae*) *en culture pure sur agar montrant les traces des trichomes en mouvement* (× 100).

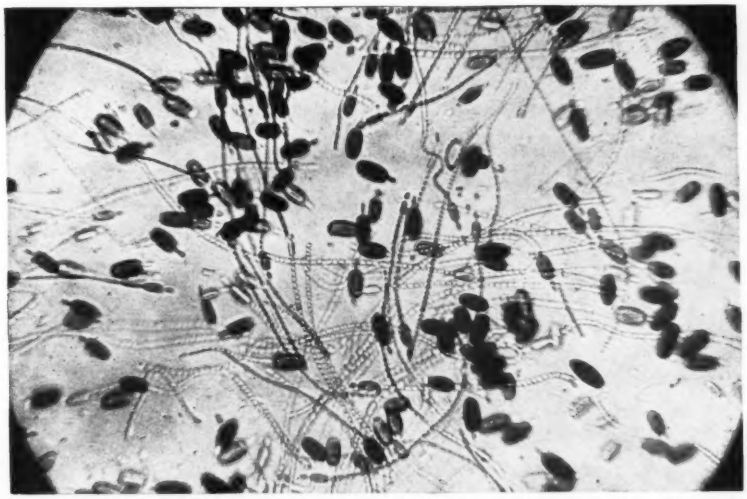


FIGURE 2 – Cylindrospermum *sp.* (*Myxophyceae*) *avec des spores sur agar* (× 100).

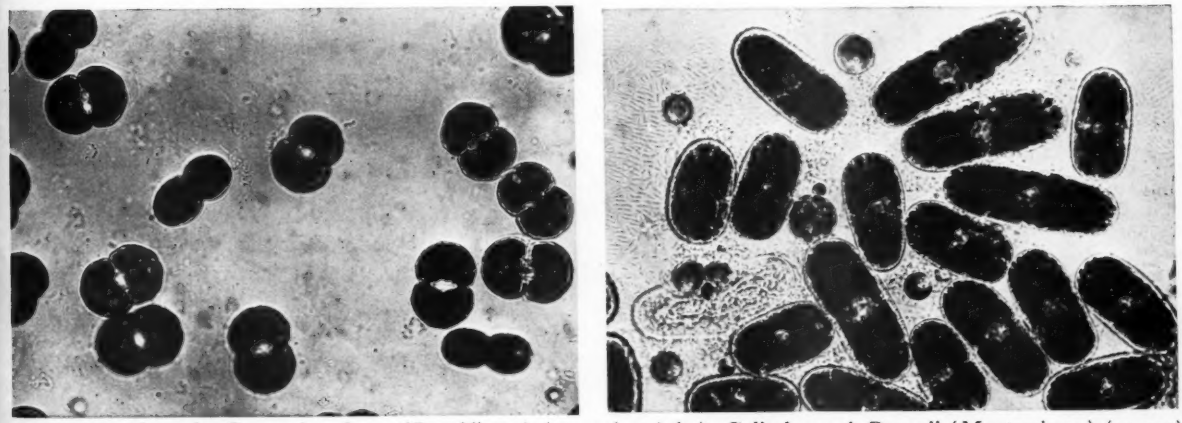
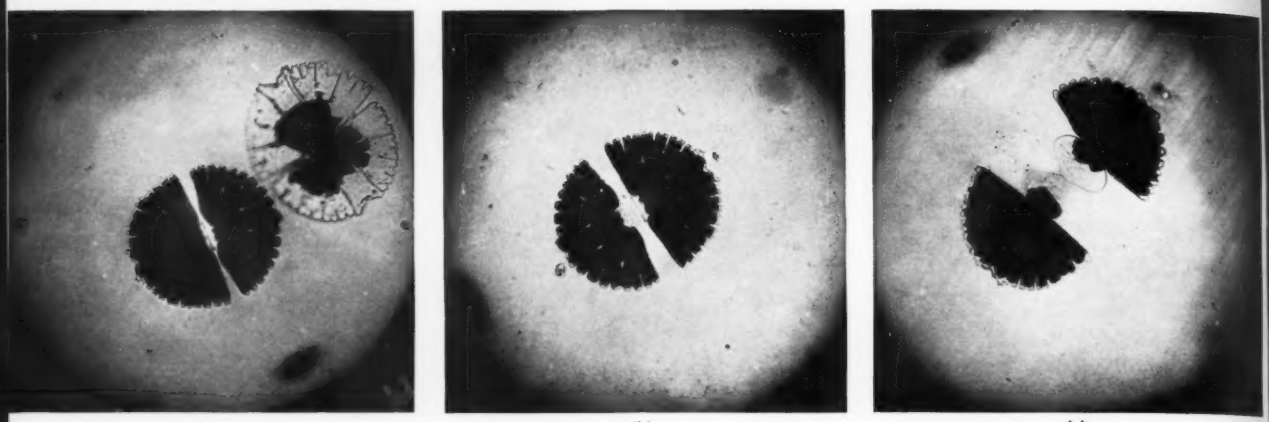
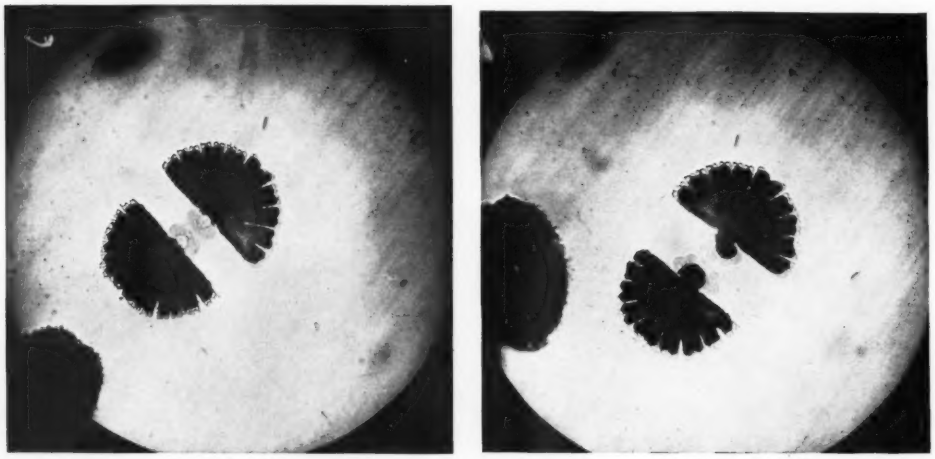


FIGURE 3 – *A gauche:* Cosmarium laeve (*Desmidiaceae*) (× 300) *et à droite* Cylindrocystis Braunii (*Mesotaeniaceae*) (× 300) *en culture pure sur agar.*

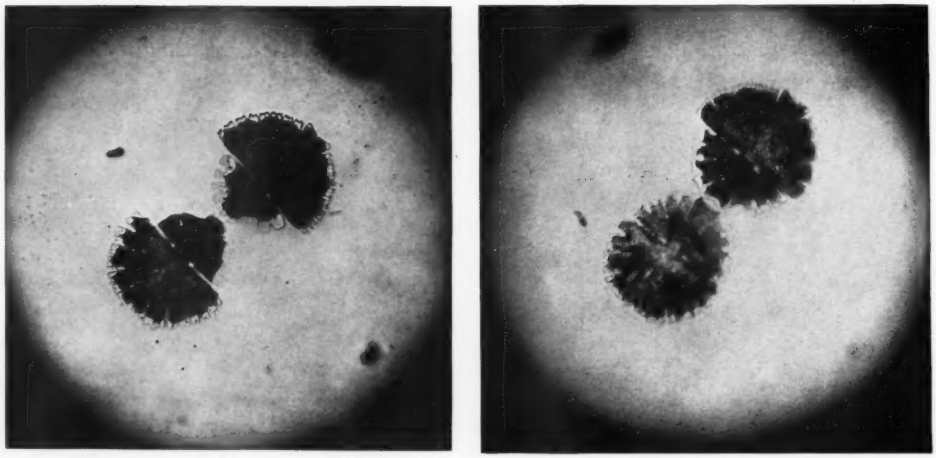


(a) (b) (c)

FIGURE 4 – (*a–c*) Micrasterias rotata (*Desmidiaceae*); *trois stades de la division cellulaire; matériel en culture;* (a) 17 *heures* 03 *minutes*, (b) 18 h. 11, (c) 20 h. 03 (× 100).



(a) (b)



(c) (d)

FIGURE 5 – (a–d) Micrasterias denticulata (*Desmidiaceae*); *quatre stades de la division cellulaire; matériel en culture;* (a) 10 *heures* 03 *minutes*, (b) 10 *h.* 50, (c) 12 *h.* 12, (d) 14 *h.* 08 (× 100).

renverser le raisonnement et tirer des conclusions concernant les propriétés physiologiques de l'espèce, à partir des caractères du lieu où on les trouve. Les algues vivant en eau sale peuvent être pourtant incapables d'utiliser les substances organiques qu'elles ont à leur disposition. Seules des expériences de culture peuvent en décider. Même quand une espèce est manifestement favorisée par certains composés organiques on ne peut conclure à leur utilisation, spécialement si les autres organismes n'ont pas été exclus. On a cru ainsi un moment que *Polytoma* et *Polytomella* étaient des flagellés utilisant les sucres, alors qu'ils vivent en fait sur les acides gras.

Les algues constituent la principale nourriture de beaucoup d'animaux et de leurs larves. Si l'on veut accroître la quantité de nourriture dans les rivières, les lacs et même dans la mer, il est urgent de faire des recherches sur les conditions de vie de ces algues et la manière dont elles sont assimilées et consumées. De grandes expériences, faites en Bohême et en France, nous ont appris qu'on peut améliorer substantiellement la productivité des étangs en poisson, en ajoutant des fertilisants, mais aussi que l'opération doit être soigneusement surveillée et adaptée au poisson à nourrir. D'un autre côté, les algues peuvent causer des troubles sérieux dans les ouvrages de distribution d'eau, dans les petits viviers et même sur le sol des jardins maraîchers et les murs des maisons, en sorte que le besoin d'algicides se fait sentir.

Au cours des dernières décades, on s'est aperçu progressivement que les diagnoses de beaucoup d'algues reposaient sur des bases très incertaines. Il n'en est pas ainsi dans tous les groupes, mais il existe de nombreuses familles aussi bien parmi les plus simples que parmi les plus compliquées, et de plus communes, où l'on ne peut estimer le degré de variabilité sans expériences de culture. Dans la nature, les différences entre deux prises d'échantillon d'une même algue peuvent tenir soit à des facteurs héréditaires, soit à une modification due aux conditions de vie dans l'habitat. Si toute la population est modifiée de la même manière on peut aisément la prendre pour une unité taxonomique différente. Ce fait s'est souvent produit chez les *Euglenineae*. Chez beaucoup de *Chlorococcaceae* on a utilisé la formation des colonies comme caractère des genres et même des familles. Or il n'est pas possible de se servir de cette formation des colonies comme caractère taxonomique. La structure de la cellule et le mode de reproduction ne suffisent pas à différentier la plupart des espèces de chlorococcales. Il arrive cependant que la même espèce existe sous forme de cellules isolées, de colonies de quatre à seize cellules ou de colonies complexes comprenant un grand nombre de tels groupes, disposés suivant un ordre plus ou moins régulier. Seules des expériences de culture peuvent décider quelles sont les formes qui appartiennent à une même espèce et dans quelles conditions les cellules restent unies après la division. Il est tout à fait possible, par exemple, que certaines espèces d'*Ankistrodesmus*, de *Quadrigula* et de *Tetradesmus* appartiennent en réalité à la même espèce bien que groupées actuellement dans des familles différentes. Parmi les algues plus élevées en organisation le genre *Cladophora* avec son grand nombre d'espèces et ses variétés et sous-variétés innombrables offre un exemple de l'insuffisance d'une étude purement morphologique pour résoudre les problèmes taxonomiques. Si nous ne pouvons reconnaître les espèces il est naturellement inutile de leur attribuer des propriétés physiologiques et écologiques définies.

Les cultures étant utilisées, comme dans le premier exemple, pour décrire des espèces plus complètement et leurs variations, nous entendrons sans doute bientôt parler de génétique d'algues. En dépit de débuts intéressants, on n'a pu réaliser aucune étude bien conduite. Ce n'est pas par hasard que F. Wettstein s'est décidé à utiliser des mousses pour ses études maîtresses en génétique, après avoir écarté les algues. Parmi ces dernières il en est quelques unes chez lesquelles on peut induire à volonté la reproduction sexuée mais subsiste le grand obstacle de ne pouvoir faire germer à coup sûr les stades suivants.

Pour la plupart des recherches mentionnées ci-dessus il faut des laboratoires équipés de façon convenable dans lesquels on puisse entretenir régulièrement les cultures. Des collections existent à Genève, Bâle et Cambridge (Angleterre) et à plus petite échelle à Paris, Prague et Upsala et dans différents laboratoires américains. La plupart d'entre elles ne sont conservées par des spécialistes que pour leur propre usage. Aucune d'elles n'a son avenir assuré, excepté celle de Cambridge dont l'Université a pris la responsabilité.

C'est pourquoi une coopération internationale est nécessaire en vue d'établir au moins un laboratoire de phycologie expérimentale, spécialement construit et équipé comme centre de recherches diverses qui fournirait des souches et des renseignements.

L'évolution de la biochimie des enzymes

P. F. FLEURY et J. E. COURTOIS

Cet article contient une revue des premiers travaux sur les enzymes et la définition de la conception moderne du terme que l'on peut résumer ainsi: holoenzyme = apoenzyme + coenzyme. Les méthodes de purification sont esquissées, et l'on étudie les essais de définition de la constitution chimique des enzymes. Il y a une liste des vitamines qui entrent dans leur composition, et le rôle qu'elles jouent dans le métabolisme et la chimiothérapie est étudié. Les changements pathologiques de l'activité enzymotique servent d'utile indicateur dans diverses maladies.

C'est au XVIIIe siècle que débutèrent les recherches sur les réactions diastasiques; Réaumur puis Spallanzani observèrent que le suc gastrique dissolvait la viande; en 1814, Kirchhoff signala que les graines d'Orge germées contenaient une substance capable de convertir en sucres non seulement la matière amylacée de ces graines mais encore une certaine quantité d'amidon ajouté au milieu.

C'est à Payen et Persoz que l'on doit la séparation de cette substance l'amylase, et, de ce fait, la découverte du premier enzyme. Le 17 Juin 1833 Payen et Persoz présentent par l'intermédiaire de J. B. Dumas une communication à l'Académie Royale des Sciences. Ils annonçaient la séparation à partir de l'Orge germée d'une substance «solide, blanche, amorphe, insoluble dans l'alcool, soluble dans l'eau et l'alcool faible. Chauffée de 65° à 70° avec de la fécule elle possède le pouvoir remarquable de détacher promptement les enveloppes de la substance intérieure modifiée, la dextrine. . . . Cette singulière propriété de séparation nous a déterminés à donner à la substance qui la possède le nom de diastase[1] qui exprime précisément ce fait».

Le mémoire original de Payen et Persoz reconnaît à la diastase quelques propriétés qui se sont précisément révélées être les caractères fondamentaux des enzymes: (1) *la thermolabilité.* Si l'on chauffe jusqu'à ébullition la solution de diastase, elle perd la faculté d'agir sur la fécule et sur la dextrine; (2) *la disproportion considérable entre la quantité d'enzyme introduit et celle de substrat transformé.* Lorsque l'extraction de ce principe immédiat nouveau a été faite avec soin, son énergie est telle qu'une partie en poids suffit pour rendre soluble dans l'eau chaude la substance intérieure de 2000 parties de fécule sèche et pour opérer ensuite la conversion de la dextrine en sucre; (3) *la possibilité de purifier la diastase en la précipitant par l'alcool de sa dissolution aqueuse.* D'ailleurs jusqu'à la fin du siècle dernier cette précipitation demeura le principal mode de purification des enzymes.

Entre la découverte de Payen et Persoz et l'époque actuelle, on peut distinguer trois grandes périodes dans le développement de nos connaissances sur les enzymes: la phase où se forme et se précise la notion d'enzyme, la phase de généralisation et enfin le développement considérable au cours de ces vingt dernières années.

FORMATION DE LA NOTION D'ENZYME (1833–94)

A partir de 1835, divers auteurs signalèrent d'autres préparations possédant les caractères de la diastase mais transformant des corps différents. C'est ainsi que furent découvertes successivement la pepsine, l'émulsine, la myrosine, la trypsine, la lipase, la sucrase et l'uréase. En 1877, Duclaux, l'un des plus brillants disciples de Pasteur, publie un article intitulé «Action des diastases ou ferments solubles». En une dizaine de pages, Duclaux coordonne l'état de nos connaissances sur ce sujet; on peut considérer que cet article représente le fondement de cette science nouvelle: l'enzymologie.

GÉNÉRALISATION DE LA NOTION D'ENZYME (1894–1926)

Tous les enzyme découverts jusque-là appartenaient au groupe des hydrolases, enzymes fragmentant le substrat par fixation des éléments de l'eau H et OH sur les deux fractions se trouvant originellement de chaque côté de la liaison rompue. Aussi ce fut une véritable révolution lorsque en 1894, E. Bourquelot et G. Bertrand découvrirent une nouvelle classe d'enzymes susceptibles de fixer non plus l'eau mais l'oxygène sur le substrat: les oxydases.

[1] Du mot grec *diastasis*, qui signifie *séparation*.

L'étude de ces oxydases conduisit G. Bertrand à proposer la première conception sur la constitution des enzymes; conception qui légèrement remaniée est à l'heure actuelle universellement admise. L'enzyme total ou *holoenzyme* résulte de l'union d'au moins deux fractions:

(*a*) *l'apo-enzyme* presque toujours sinon exclusivement de nature protéique, colloïdal et thermolabile.

(*b*) *le co-enzyme* de constitution chimique variable, fréquemment un ester phosphorique, parfois un dérivé métallique; le plus souvent le coenzyme non colloïdal est assez thermostable.

Cette découverte d'un enzyme non hydrolysant fut rapidement suivie de celles d'autres enzymes distincts des hydrolases. Büchner en 1897 obtint par expression de la levure un suc transformant le glucose en anhydride carbonique et alcool éthylique; cette préparation, la zymase, présentait les caractères des enzymes mais catalysait une réaction qui n'avait jamais été réalisée jusque-là qu'à l'aide de cellules vivantes de levure. Cette découverte tendait à combler le fossé que l'on supposait exister entre les ferments organisés et les enzymes.

En 1902 Schärdinger décrit la première déshydrogénase; cet enzyme, présent dans le lait, arrache à une molécule d'eau l'hydrogène qui est capté par le bleu de méthylène réduit en leucodérivé incolore, tandis que l'oxygène de cette même molécule d'eau oxyde le formaldéhyde en acide formique. A la même époque, Neuberg découvre la carboxylase qui transforme l'acide pyruvique en acétaldéhyde et anhydride carbonique. Mais tous les enzymes isolés jusque-là ne catalysaient que des processus de dégradation; de 1900 à 1912 il fut possible après de multiples tâtonnements de catalyser par l'intermédiaire d'enzymes des réactions de condensation. Les recherches portèrent principalement sur la biosynthèse des holosides et hétérosides auxquelles s'attachent les noms de Croft-Hill — Bayliss et Armstrong — Bourquelot — Hérissey et Bridel. Enfin en 1906, se situe une découverte primordiale, Harden et Young observèrent qu'au cours de la fermentation alcoolique le sucre est tout d'abord transformé en ester diphosphorique du fructose. L'isolement des composés intermédiaires de la glycolyse constitue, avec les recherches effectuées à la même époque par Hopkins sur l'acide lactique dans la contraction musculaire, le début des études sur le métabolisme intermédiaire qui devaient prendre un tel développement en Grande-Bretagne.

DÉVELOPPEMENT DE LA CHIMIE DES ENZYMES (1926–49)

Vers la fin de la deuxième période, les enzymes apparaissaient comme des catalyseurs spécifiques thermolabiles; aucun des grands problèmes posés par ces substances n'était résolu: isolement à l'état pur, constitution, spécificité, mode d'action. La période de 1926 à nos jours a marqué de grands progrès dans ces divers domaines. Elle fut inaugurée de façon sensationnelle par les travaux de l'Ecole Américaine.

En 1926, James Sumner, travaillant aux Etats-Unis, décrit la séparation d'uréase à l'état cristallisé: la farine de Fève Jack est extraite par l'eau, la solution est traitée par l'acétone; par refroidissement il se dépose des cristaux dont l'activité uréasique n'est pas sensiblement modifiée après de nouvelles recristallisations. Ces cristaux d'uréase possèdent la composition élémentaire et les propriétés générales des globulines.

PURIFICATION DES ENZYMES

Les holoenzymes présentent les caractères des protéines; aussi l'enzymologie a très largement bénéficié des progrès réalisés dans la purification des protéines. Les principales techniques actuelles de purification sont le relargage fractionné par les sels (sulfates d'ammonium, sodium et magnésium — phosphates alcalins); la précipitation par les solvants organiques miscibles à l'eau (alcool méthylique, acétone, dioxane), l'adsorption et l'élution. Les diverses alumines sont les adsorbants les plus fréquemment utilisés. A ces techniques chimiques, il convient d'adjoindre les méthodes physiques: la dialyse dans diverses conditions, en particulier l'électrodialyse, l'ultrafiltration, l'électrophorèse différentielle. Il convient de remarquer que l'association de ces techniques permet l'obtention de préparations très actives et non d'holoenzymes rigoureusement purs, au sens chimique du terme. Les préparations les plus actives obtenues, même celles ayant cristallisées, renferment presque toujours une fraction associée dépourvue d'activité diastasique.

La séparation des enzymes à spécificités très distinctes est relativement aisée; l'exemple le plus classique est celui des enzymes du suc pancréatique: protéases — amylase — lipase. Il s'avère par contre des plus difficile et parfois presque impossible de séparer des enzymes à spécificités très rapprochées: glucidases des amandes ou phosphatases des graines (J. Courtois). En effet, les enzymes transformant des substrats à constitution chimique similaire présentent de

multiples caractères physico-chimiques communs qui rendent plus délicate leur séparation sans dénaturation de l'apoenzyme protéique. La conséquence la plus fertile de l'obtention d'enzymes à un degré avancé de pureté a été la possibilité de préciser la structure chimique de divers co-enzymes.

CONSTITUTION CHIMIQUE DES CO-ENZYMES

Il est possible de séparer par dialyse de la zymase de Büchner une substance thermostable: la co-zymase; cette dernière est le co-enzyme de nombreuses déshydrogénases. A partir de 1920, Von Euler et Myrbäck s'efforcèrent de purifier ce co-enzyme; vers 1930, ils arrivèrent à montrer que la co-zymase est un nucléotide renfermant de l'adénine. En 1934, Von Euler d'une part, Warburg et Christian d'autre part isolent à partir de co-enzymes de déshydrogénases l'amide nicotinique; peu après les vitaminologistes réussissaient à identifier à ce corps la vitamine PP (pellagra-preventing).

La même année H. Theorell démontra que le ferment jaune, enzyme déshydrogénant de la levure, est dissocié par dialyse en apo-enzyme et co-enzyme. Le ferment jaune est reconstitué par la réunion de ces deux fractions mais, fait nouveau et d'une importance essentielle, le co-enzyme fut identifié à l'ester phosphorique de la riboflavine, la vitamine B_2. Pour la première fois, on pouvait jeter un pont entre les enzymes et les vitamines.

L'année suivante, Lohmann et Schuster montrent que la co-carboxylase est un ester phosphorique de la vitamine B_1; ce fait précisait les travaux de Peters et de ses collaborateurs d'Oxford qui avaient déjà montré que la vitamine B_1 intervenait dans le métabolisme de l'acide pyruvique.

Il est par ailleurs assez remarquable d'observer que dans presque tous les co-enzymes, la vitamine, métabolite essentiel, se trouve liée plus ou moins directement à l'acide phosphorique. Courtois et Barré ont émis l'hypothèse que cette estérification d'un radical hydroxylé par l'acide phosphorique avait pour but de favoriser l'union du métabolite à l'apo-enzyme protidique, cette union se réalisant par les autres fonctions acides de l'acide phosphorique. Courtois et Barré ont observé qu'une protéine végétale, la conamandine, pouvait former des combinaisons insolubles vers *p*H 3,0–4,0, avec de nombreux esters phosphoriques et les acides pyrophosphorique et orthophosphorique; les esters de composés hydroxylés cycliques fournissent les combinaisons les plus stables.

Une acquisition fort importante en enzymologie est la notion d'antimétabolite. En 1940, Woods signala que le *p*-aminophénylsulfamide

$$NH_2\text{-}C_6H_4\text{-}SO_2NH_2$$

exerce une action antagoniste de celle de l'acide *p*-aminobenzoïque $NH_2\text{-}C_6H_4\text{-}CO_2H$. Cet acide *p*-aminobenzoïque est un métabolite essentiel nécessaire au développement de nombreux micro-organismes, il semble être combiné sous forme d'enzymes encore mal connus.

La sulfamide possédant une structure chimique voisine de celle de ce métabolite peut le déplacer de sa combinaison avec l'apo-enzyme et s'y substituer pour former une nouvelle combinaison dépourvue d'action enzymatique. L'équilibre entre le métabolite et la sulfamide anti-métabolite est réglé par la loi d'action de masse; il est fonction des concentrations respectives des deux corps et des stabilités de leurs combinaisons avec l'apo-enzyme commun.

Cette découverte représentait la première relation entre la chimiothérapie et l'enzymologie, elle permettait d'interpréter l'action bactériostatique des sulfamides par la formation de combinaisons inactives se substituant aux enzymes indispensables au métabolisme bactérien.

La liste des enzymes dont on a pu préciser la constitution ne se limite pas à ceux dont le co-enzyme renferme des vitamines et qui présentent une certaine similitude avec les nucléoprotéides. Quelques enzymes présentent de nettes analogies avec les pigments respiratoires; la catalase et la peroxydase sont des ferroprotéides assez proches de l'hémoglobine: le fer y est uni à un cycle tétrapyrrolique relié à une fraction holoprotidique. Les biochimistes de Cambridge: Keilin, Mann, Tissières, ont par ailleurs montré que certains oxydases sont des cuproprotéides se rapprochant des hémocyanines, pigments respiratoires des Mollusques et Crustacés.

Enfin divers ions métalliques peuvent activer nettement certains enzymes, l'activation est d'autant plus manifeste que l'enzyme est plus purifié. Ces enzymes sont dénommés: à constituant métallique dissociable (J. Roche). Il apparaît douteux que l'ion métallique représente le co-enzyme, il semble qu'il intervient soit pour favoriser l'union de l'enzyme au substrat, soit pour stabiliser la liaison apo-enzyme — co-enzyme. C'est ainsi que le manganèse active l'arginase, le magnésium l'énolase, le magnésium et à un moindre degré le zinc et le cobalt les phosphatases alcalines.

VITAMINES CONSTITUANTS DE CERTAINS ENZYMES

Vitamine décelée dans l'holoenzyme	*Structure chimique du co-enzyme*	*Holo-enzyme correspondant*
B_1 (thiamine)	Ester pyrophosphorique de la thiamine	Carboxylase des acides α-cétoniques
B_2 (lactoflavine)	Ester orthophosphorique	Ferment jaune de *Warburg*
	Ester orthophosphorique lié à l'acide adénylique sous forme de dinucléotide	Deuxième ferment jaune Oxydase des *d*-amino acides Xanthine-oxydase Fumarate hydratase Diaphorases Aldéhydo-dehydrases, etc.
B_6 (pyridoxine)	Pyridoxal phosphorylé	Décarboxylases de 1-amino-acides divers Transaminases
	Pyridoxaminephosphate	Transaminases glutamique et aspartique
PP (amide nicotinique)	Dinucléotides avec amide nicotinique-ribose-$(PO_3)^n$-ribose-adénine $n = 2$ codéhydrase I $n = 3$ codéhydrase II	Déshydrogénases diverses à spécificités variées
Acide pantothénique	Coenzyme A (ester phosphorique ?)	Enzymes d'acétylation et de conjuguaison
Inositol	?	Certaines amylases (Williams) absent d'autres amylases purifiées (Fischer et Bernfeld)
F (acide ptéroylglutamique ou folique)	?	Enzymes oxydant la tyrosine dans le foie
H′ (acide *p*-amino-benzoïque) ..	Peptide ?	Enzymes mal définis intervenant dans le métabolisme intermédiaire bactérien

RÔLE DES ENZYMES DANS LE MÉTABOLISME INTERMÉDIAIRE

Pendant près d'un siècle, on avait pu croire que les enzymes opéraient indépendamment les unes des autres mais l'étude approfondie du métabolisme intermédiaire a montré que les transformations s'opéraient selon une série d'étapes, et qu'à chacune de ces étapes intervient un enzyme nouveau. Celui-ci provoque la transformation d'un métabolite qui, dans l'étape précédente provient d'une autre action enzymatique. Le métabolisme intermédiaire le mieux connu à l'heure actuelle est celui du glucose (fermentation alcoolique et glycolyse musculaire). Au cours de ces processus l'énergie enclose dans la molécule du glucose se dégrade progressivement au cours d'une chaîne de réactions catalysées successivement par la phosphorylase, la phosphoglucomutase, l'hexokinase, la phosphophérase, la zymohexase, l'isomérase des triosephosphates, une première déshydrogénase, l'isomérase des acides phosphoglycériques, l'énolase, une phosphophérase, une seconde déshydrogénase etc.

L'énergie développée dans certaines réactions catalysées par les enzymes peut être accumulée transitoirement dans certains corps intermédiaires comme les composés phosphorés à liaison riche de Lipmann.

Ces réactions complexes (scission, isomérisation, transfert) sont parfois en liaison avec des processus de resynthèse; l'un des enzymes les mieux connus parmi ceux doués d'une action synthétisante est

la phosphorylase des Cori. Elle catalyse la réaction réversible: *n*-glucose-*l*-phosphate ⇄ polyholoside à *n*-glucose + *n*-orthophosphate. Avec les phosphorylases d'origine animale le polyholoside synthétisé se rapproche du glycogène; avec les phosphorylases végétales, localisées plus spécialement dans les amyloplastes, on obtient un corps très voisin de l'amidon. Des enzymes du même type ont permis d'obtenir par biosynthèse des sucres comme le saccharose.

Nous signalerons enfin le rôle des phérases; ces enzymes catalysent le transport d'un radical ou d'un groupement d'un premier composé sur un second; elles ont un rôle essentiel dans le métabolisme intermédiaire et permettent le passage d'une catégorie de composés biochimiques à une autre. Il y a dix ans, Braunstein décrivit l'aminophérase ou transaminase qui transporte réversiblement le radical amine primaire d'un acide α-aminé sur un acide α-cétonique comme par exemple la réaction: acide L (+) glutamique + acide pyruvique ⇄ acide α-cétoglutarique + L (+) alanine. Le cycle tricarboxylique de Krebs représente un autre exemple de ces transformations en chaînes. Mais jusqu'ici nous ne possédons que les maillons plus ou moins longs de diverses chaînes, il en reste beaucoup d'incomplètes et pour la plupart nous n'avons pu déceler jusqu'ici que de petits fragments isolés.

VARIATIONS PATHOLOGIQUES DE L'ACTIVITÉ DES ENZYMES

Depuis dix ans, la détermination de l'activité de certains enzymes devient d'un usage courant dans les Laboratoires de Biologie Clinique. Les variations pathologiques observées facilitent le diagnostic; en outre le retour progressif à un taux normal est un sûr moyen de contrôle de l'efficacité d'un traitement thérapeutique.

Nous en donnerons quelques exemples parmi les plus caractéristiques: H. D. Kay de Reading a montré que le taux de la phosphatase sérique active en milieu alcalin est en relation avec le fonctionnement du système osseux; les valeurs normales sont plus élevées chez les sujets jeunes au squelette en voie de développement que chez les adultes. L'activité phosphatasique du sérum s'accroît notablement dans diverses affectations d'origine osseuse: ostéites de Paget et Recklinghausen, rachitisme, ostéomalasie, ostéosarcomes; le retour à la normale est un critère très sûr de la guérison. Le sérum contient en plus faibles proportions une phosphatase réagissant en milieu faiblement acide, le taux de la phosphatase acide s'accroît considérablement dans les cancers de la prostate avec métastases; la guérison ou même l'amélioration de l'état du malade s'accompagnent d'un abaissement progressif de l'activité.

L'activité des diverses estérases du sérum (tributyrinase — cholinestérase — procaïneestérase) est en relation avec l'état fonctionnel du foie; ces déterminations fournissent un élément des plus utiles dans le diagnostic différentiel, souvent délicat, des affections hépatiques. Au cours des pancréatites aiguës l'on observe un déversement brutal d'amylase dans le sérum; l'excès d'enzyme diffuse dans l'urine où il peut être retrouvé. L'activité de l'hyaluronidase est en rapport avec la fécondation et certains phénomènes de diffusion dans les tissus riches en mucines.

CONCLUSIONS

Depuis plus d'un siècle, les progrès de l'enzymologie ne le cèdent en rien à ceux réalisés dans d'autres branches parfois plus spectaculaires de la Biochimie ou de la Biophysique. L'enzymologie représente en quelque sorte le ciment qui rassemble ces branches que le progrès des sciences et la spécialisation qui en résulte tendent à faire diverger. Il n'existe pratiquement pas de constituant cellulaire qui ne soit tributaire d'un enzyme ou n'en dérive d'une façon plus ou moins directe.

BIBLIOGRAPHIE

BALDWIN, E. «Dynamic Aspects of Biochemistry». Cambridge University Press. 1947.

FLEURY, P., et COURTOIS, J. «Les diastases». Armand Colin Edit., Paris. 1948.

GREEN, D. E. «Currents in Biochemical Research». Interscience Publishers, New-York. 1946.

NORD, F., et WEIDENHAGEN, R. «Handbuch der Enzymologie» 2 Vol. Becker und Erler, Leipzig. 1940.

NORD, F., et WERKMAN, G. «Advances in Enzymology» 10 vol. Interscience Publishers, New-York. 1941.

ROCHE, J. «Récentes acquisitions sur le rôle des métaux dans la structure et dans l'activité des enzymes à constituant métallique dissociable». Hermann Edit., Paris. 1946.

SCHOENHEIMER, R. «The Dynamic State of Body Constituents». Harvard University Press, Cambridge, E.U. 1942.

SUMNER, J. B., et SOMERS, F. «Chemistry and Methods of Enzymes». Academic Press, New-York. 1947.

La cavitation dans les liquides

E. G. RICHARDSON

Cet article étudie la cavitation produite par l'entrée d'un corps solide dans un liquide et mentionne comme application l'atterrissage d'un hydravion. Les conditions hydrodynamiques de la cavitation sont nommées et le nombre de Reynolds défini. Sont décrits ensuite les effets de la viscosité du liquide et de la réduction de la pression atmosphérique. Les effets de la cavitation sur le rendement des machines hydrauliques et des hélices de bateaux sont mentionnés.

En 1897 Worthington publia un article [1] sur les éclaboussures produites par la chute de sphères d'acier ou de gouttes d'eau à la surface d'un plan d'eau uni. Par la suite il fit paraître aussi un certain nombre de photographies, prises par la méthode du magnésium [2].

L'une d'elles est reproduite ici (figure 1) pour mettre en évidence cet aspect caractéristique de l'entrée relativement lente d'une sphère solide dans une masse de liquide, qu'est le jet de liquide surgissant derrière la sphère pour former l'éclaboussure. La balle elle-même est sortie du champ visuel limité par le cercle blanc projeté sur la plaque par un appareil à projection placé derrière le récipient. Le solide donne au liquide une impulsion centripète qui donne naissance à une cavité dans laquelle l'air se précipite. De telles cavités se forment aussi lorsqu'une goutte de liquide tombe avec une vitesse suffisante dans une masse de même liquide.

La force que rencontre le corps solide est due, d'une part à la friction superficielle du liquide se déplaçant le long de sa surface jusqu'au point où il s'en sépare pour former la cavité, et de l'autre au travail effectué par le corps donnant une impulsion au liquide au moment où il s'y fraie un chemin. S'il y a éclaboussure prononcée, un travail est aussi effectué en donnant une impulsion ascendante à la surface. En fait la plus grande part de la force a une direction horizontale ou quasi-horizontale. C'est un fait que l'on peut vérifier si un certain nombre de minuscules bulles d'air sont dispersées dans le liquide juste avant que la sphère ne pénètre, car une série rapide de photos superposées révèlera par le tracé des bulles d'air entraînées avec le liquide, le mouvement qui lui est imprimé localement. Cette méthode est illustrée par la figure 2 qui montre une série de photographies superposées de l'entrée d'une sphère dans l'eau où les positions successives de chaque bulle d'air indique le tracé de l'impulsion locale donnée à l'eau.

L'importance pratique de telles forces de choc fut comprise lorsqu'un hydravion lourd se posa sur la mer. Bien qu'un tel «atterrissage» soit oblique et que l'appareil ne pénètre pas profondément dans l'eau, une cavité considérable peut cependant se former dans ces conditions et son existence engendrer des forces de pression considérables sur les flotteurs ou sur la coque de l'avion. L'amplitude de ces forces fut étudiée pour la première fois avec des modèles réduits et aussi en grandeur naturelle à la Station expérimentale d'aviation maritime de la Royal Air Force à Felixstowe, en Angleterre.

Le cas particulier étudié ci-dessus apporte quelque lumière sur certains aspects du phénomène qui se produit aux frontières d'un solide et d'un liquide en mouvement relatif lorsque la vitesse atteint une valeur critique, et que l'on nomme aujourd'hui cavitation. La pression absolue en tout point d'un système hydrodynamique est égale à la pression atmosphérique sur la surface libre, p_a, plus la pression hydrostatique h du liquide au-dessus du point, moins la pression dynamique $v^2/2g$. A mesure qu'augmente la vélocité, se forme une pression absolue négative qui est finalement atteinte lorsque $v^2/2g > p_a + h$, c'est-à-dire que le liquide supporte une tension et que, lorsque cette dernière atteint une valeur critique, des cavités se forment remplies de vapeur ou d'air dissous dans le liquide. Ces cavités se déplacent vers des régions à pression supérieure, puis s'effondrent et laissent la place à d'autres, la vie d'une cavité étant de l'ordre de 1/100 de sec.

La question de la tension limite que peut supporter un liquide avant de se rompre fut étudiée pour la première fois par Berthelot qui scella un liquide près de son point d'ébullition dans un fort tube de verre et attendit que se produisissent des brisures dans la continuité du liquide en refroidissant. D'après ses expériences, il estima que l'eau pouvait supporter 200 atmosphères avant de se

rompre et de laisser le vide dans le tube. Ceux qui répétèrent ces expériences et d'autres analogues en prenant des mesures directes de la tension critique déclarent cependant des valeurs bien moindres et Temperley [3] qui fit une étude récente de toute la question pense qu'un liquide ne peut pas résister à une pression de plus de dix atmosphères environ de pression négative.

Nous avons démontré que la forme de la cavité formée par une sphère pénétrant dans un liquide ne dépend pas de la viscosité du liquide. Le seul effet d'une viscosité accrue est de retarder l'échappement et la montée vers la surface de l'air entraîné. Des expériences faites à l'aide de réservoirs placés en chambre close où peut varier la pression de surface, ont démontré que la forme initiale de la cavité est indépendante aussi de la pression atmosphérique; le liquide commence à se sceller à la surface sous une pression atmosphérique normale; mais lorsque la pression est réduite à un cinquième de la normale, il y a éclaboussure prononcée, la cavité reste ouverte en forme de cloche à la surface et le liquide se rejoint d'abord plus bas dans la cavité. Les figures 3 et 4 montrent cette différence. La tension de surface a peu d'effet pour une vitesse d'entrée considérable parce que les forces de choc sont très grandes. Si l'on accroît la vitesse d'entrée même jusqu'à la vitesse du son dans l'eau (1435 m/s), des vagues de choc peuvent se produire, mais la forme de la cavité reste inchangée.

La cavitation causée par l'écoulement d'un liquide dans un tuyau ou conduit fut étudiée par Osborne Reynolds qui établit un critérium pour la transition entre un écoulement régulier et un mouvement turbulent. Le soi-disant nombre de Reynolds est le rapport du produit: (vélocité moyenne) × (diamètre du tuyau) à la viscosité cinétique du liquide. Remarquons que c'est un nombre pur, indépendant du système d'unités choisi. Si le nombre est inférieur à 2000, l'écoulement est régulier ou «visqueux», s'il est supérieur à 2800, l'écoulement est turbulent. Si le nombre a une valeur entre 2000 et 2800, le mouvement peut être uniforme ou turbulent, suivant la forme du tuyau et la rugosité des parois.

Les recherches expérimentales sur les phénomènes de cavitation compliqués ne peuvent en général se faire que sur des modèles réduits. Pour interpréter correctement les résultats relevés sur un modèle comme s'il s'agissait de grandeur nature, n'oublions pas que si la hauteur d'eau est réduite dans la proportion $H/h = n$, la vélocité d'écoulement à partir d'un orifice sera réduite dans le rapport $\sqrt{2(gH)}/\sqrt{2(gh)} = \sqrt{n}$ et que, supposant que le diamètre soit réduit dans la proportion n, le dégagement est réduit dans la proportion $n^2\sqrt{n}$. R. E. Froude, qui fut le premier à étudier la résistance des modèles de bateaux remorqués dans un réservoir, établit un critérium pour la prévalence de la similarité géométrique, la viscosité devant être négligée. Dans le cas simple d'un réservoir à orifice, le nombre de Froude s'exprime par v^2/gd, où v est la vélocité et d le diamètre de l'orifice. Comme le nombre de Reynolds, c'est un nombre pur, non-dimensionnel.

Des modèles compliqués de tout un système de barrages, de bassins et de conduits ont même été exécutés en vue d'une étude hydrodynamique complète de certains projets hydroélectriques devant être réalisés, comme le projet Lumiei, en Italie du Nord. Sir Charles Parsons fit, en relation avec des hélices de bateaux, des expériences sur la cavitation dans un réservoir modèle aux chantiers Heaton à Newcastle upon Tyne vers 1900 [4]. Il en résulta le tunnel avec hélice submergée dans un courant d'eau rapide qui devint le prototype d'installations similaires dans le monde entier.

Ce sont les formes de corps causant la plus forte accélération du fluide aux coins aigus qui donneront naissance à des cavités aux moindres vitesses moyennes de propulsion. Ainsi le disque ayant son axe placé dans la direction de l'écoulement du liquide formera bientôt derrière lui une large cavité semblable à celle qui se produit à l'entrée d'un corps solide si l'on exclut les caractères spéciaux d'une surface libre (figure 5). Il ne faut pas oublier que la cavité d'entrée peut se former à une vitesse bien inférieure et n'offre qu'un vide approximatif, car, ainsi que nous l'avons remarqué, elle se remplit rapidement d'air venant de l'atmosphère au-dessus. Des vitesses relatives de l'ordre de 6 m/sec sont requises pour que se produisent des cavités derrière un objet submergé.

Lorsqu'il s'agit d'un corps aux courbes moins accusées — un poisson par exemple — et que la vitesse augmente aux «épaules» ou points de plus grande courbure, la cavitation apparaît d'abord comme une chaîne de petites cavités gazeuses.

La multitude de petites bulles donne au liquide une apparence laiteuse et c'est toujours un signe du déclenchement de la cavitation. La réduction de densité conséquente trouble l'uniformité de la pression et la vitesse, ce qui gêne le fonctionnement de toute machine hydraulique. L'éclatement des bulles donne une série de coups de marteau sur les pales des turbines, des pompes et des hélices et comme la pression intérieure d'une bulle au

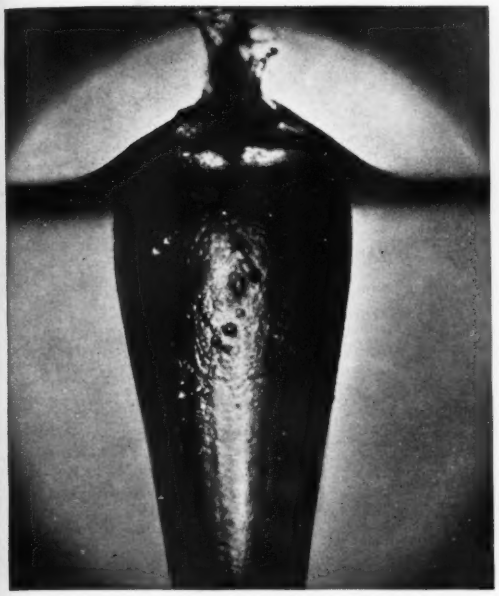


FIGURE 1 – *Entrée dans l'eau d'une sphère à la vitesse de 2 m/sec.*

FIGURE 2 – *Courant d'eau troublé par l'entrée d'une sphère; les bulles d'air montrent le tracé de la perturbation par la superposition des photographies.*

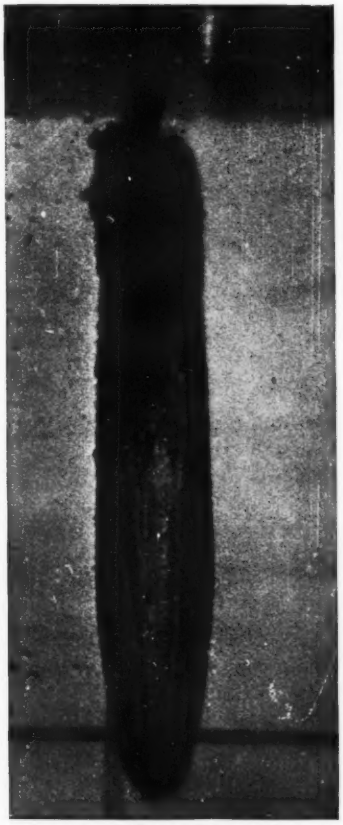


FIGURE 3 – *Entrée d'une sphère à la vitesse de 9 m/sec, montrant la soudure de surface de la cavité.*

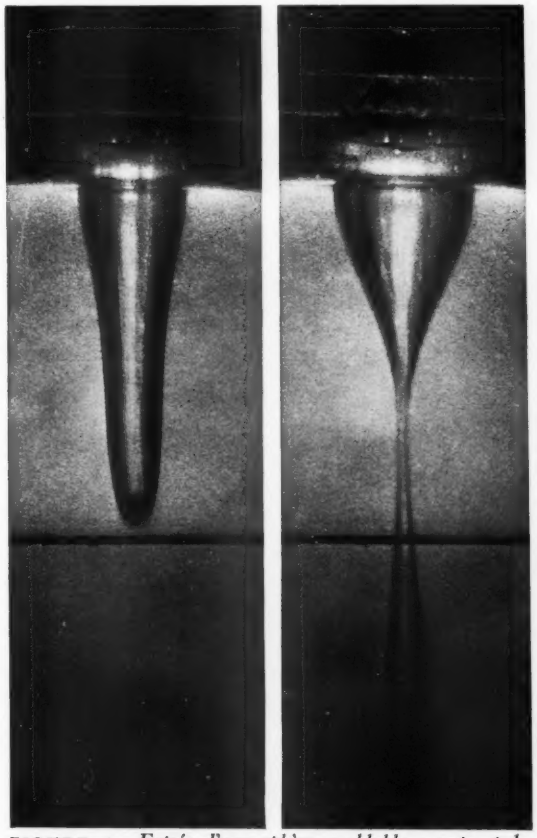


FIGURE 4 – *Entrée d'une sphère semblable, montrant la soudure en profondeur de la cavité.*

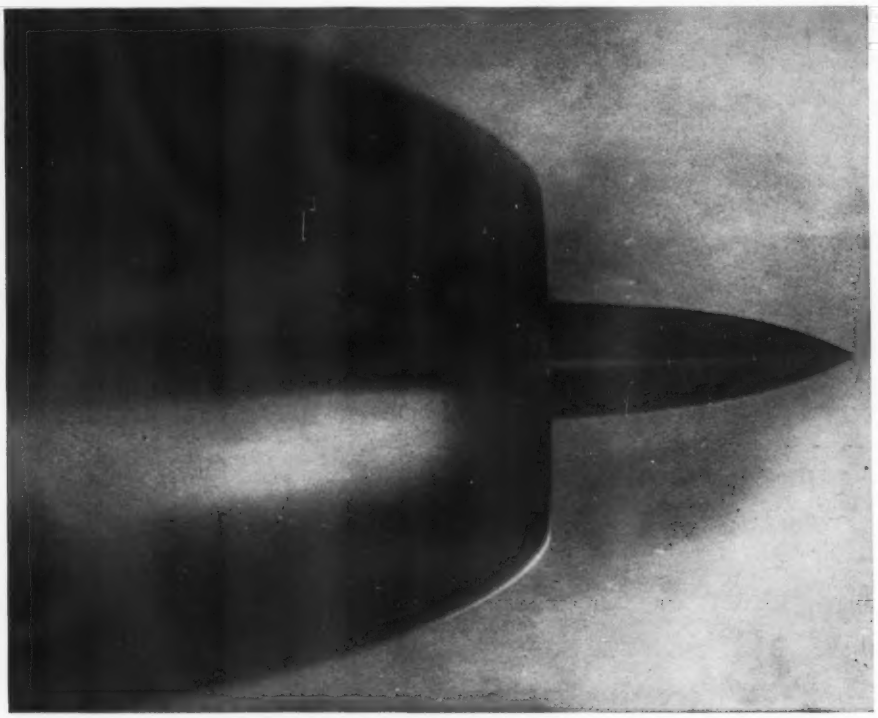


FIGURE 5 – *Disque de 10 cm de diamètre tournant dans le tunnel à cavitation à la vitesse de 6 m/sec.* (× 0·5)

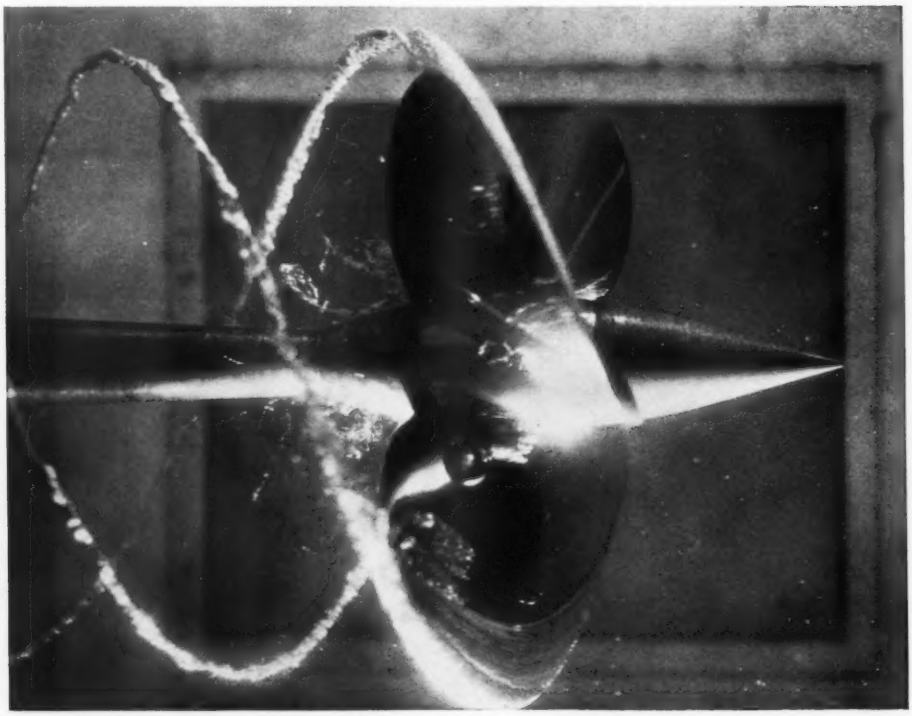


FIGURE 6 – *Hélice dans un tunnel à cavitation.* (× 0·25)

moment de l'éclatement peut atteindre des milliers d'atmosphères, ainsi que l'a démontré Lord Rayleigh, on comprend aisément qu'une gravelure et une érosion sérieuses en résultent. Il est possible que l'oxygène nouvellement libéré des bulles d'air aggrave cet effet. Les pièces mobiles de machines soumises au risque de la cavitation sont maintenant pour la plupart faites de matériaux resistant à l'érosion tels que l'acier inoxydable, l'acier chromé-nickelé ou le bronze mais cela n'empêche pas la réduction d'efficacité due à la cavitation. Il faut s'attacher principalement à la ligne de pourtour de la pièce mobile et penser aux variations de fonctionnement auxquelles la machine est sujette. Ces variations déterminent en général un changement dans la distribution de la pression, comme lorsqu'on réduit l'ouverture d'une turbine.

La cavitation a un autre effet qui a reçu une attention considérable: c'est le bruit produit par l'éclatement des bulles et la série de chocs qui suit sur les pales, cause effective de vibrations des pales. C'est une chose particulièrement désagréable pour les hélices de bateaux («hélices chantantes») non seulement parce que cela peut engendrer des vibrations de résonance dans d'autres parties du bateau [5] — machines, engrenage, arbre, coque — mais parce que le bateau est l'habitation des passagers et de l'équipage et qu'un bruit continuel surtout lorsqu'il est accompagné de vibrations horizontales peut avoir des répercussions très sérieuses sur leur système nerveux.

La figure 6 est une photo d'hélice dans un tunnel de cavitation où les cavités, en raison de la rotation des lames, subsistent par derrière sous forme d'hélices [6].

Remarquons enfin qu'il existe une autre façon de produire des cavités. Nous avons traité ci-dessus de la cavitation due à des accélérations excessives dans le fluide. Ces dernières peuvent naître non seulement dans un écoulement régulier mais dans des courants alternés qui se produisent au voisinage des générateurs supersoniques immergés. Etant donné que l'accélération est proportionnelle au carré de la fréquence, il suit que l'accélération requise sera plus facilement atteinte à des hautes fréquences. Beaucoup des soi-disant «effets» de l'agitation supersonique dans les liquides, tel que le dégazement, la destruction des cultures de bactéries et la désorganisation des molécules de polymères, sont dus aux forces engendrées par la formation des cavités et leur effondrement à la surface de la source supersonique.

En raison de la différence existant entre l'impédance acoustique de l'air (ou du vide) et celle de l'eau et des matériaux solides, ce déclenchement de la cavitation limite l'efficacité de générateurs de signaux supersoniques à haute puissance.

RÉFÉRENCES

[1] WORTHINGTON, A. M. *Philos. Trans. Roy. Soc.*, **A189**, 137, 1897.

[2] *Id.* «A Study of Splashes». Longmans, Londres. 1908.

[3] TEMPERLEY, H. N. V. *Proc. Phys. Soc.*, **59**, 199, 1947.

[4] PARSONS, SIR CHARLES. *Trans. Instn Naval Arch.*, **38**, 241, 1897.

[5] BROWN, T. W. F. *Trans. N.E. Coast Instn Engrs and Shipbuilders*, **55**, 127, 1939.

[6] GAWN, R. W. L. *Ibid.*, **65**, 339, 1949.

Combinaisons moléculaires

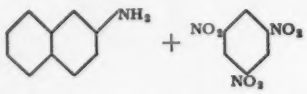
H. M. POWELL

Trois types de «combinaisons moléculaires cristallines» formées à partir de deux composés chimiques ou de davantage et n'ayant aucun moyen évident de combinaison chimique sont décrits. Il y a (1) des combinaisons qui sont formées par un lien dû à quelque attraction résiduelle et où les deux composants peuvent être très différents; (2) celles dans lesquelles un des composants reste constant avec une ressemblance quelconque de structure avec l'autre, et où il fournit une série de canaux cylindriques où peuvent se glisser les molécules allongées de l'autre; (3) les composés *clathrates* dans lesquels un des composants est constant et l'autre de taille moléculaire limitée. Dans ce cas, les larges molécules creuses contiennent les molécules plus petites d'un composé plus volatile. Les propriétés de ces corps sont étudiées et leurs applications dans la purification et autres procédés sont mentionnées.

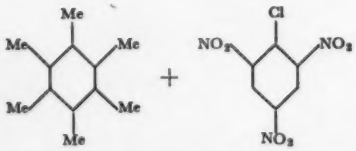
Dans des conditions convenables, telle que leur présence dans une même solution en refroidissement, deux composés chimiques — ou plus — doués chacun d'une existence séparée et n'ayant pas à priori de raison de s'unir chimiquement, peuvent former l'un avec l'autre une nouvelle substance cristalline appelée: combinaison moléculaire. Les exemples du tableau montrent que les proportions moléculaires dans la combinaison peuvent être constantes ou variables, simples ou complexes.

Le tableau ne donne que quelques exemples et la disposition en trois groupes n'est qu'un procédé commode pour illustrer la façon dont la structure moléculaire et les proportions des composants peuvent varier, pour les exemples choisis.

Dans le cas de l'exemple I, on peut provoquer des variations considérables des deux composants sans pour cela empêcher la formation de la combinaison ou affecter la formule globale. Par exemple les couples moléculaires suivants:



et



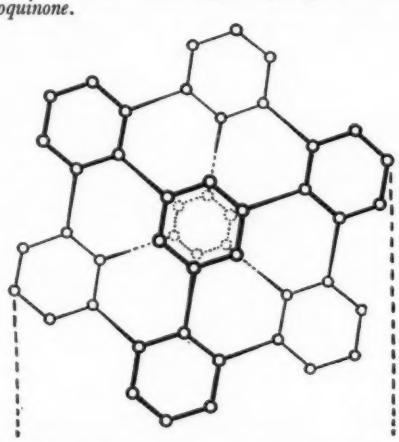
se combinent ainsi. Pour ceux-là, la proportion moléculaire 1/1, n'entraîne pas l'existence d'une liaison chimique ordinaire entre les couples de molécules, puisque la seule régularité d'empilement peut la produire. D'après l'analyse de la structure cristalline d'une telle combinaison, aucun des couples formés d'un atome de A et d'un atome de B ne présente la courte distance interatomique nécessaire à une liaison covalente. Il est logique d'attribuer ici la formation de la combinaison à une forme accentuée d'attraction résiduelle, englobant à la rigueur des parties spéciales de molécules. Cette attraction existe à condition que certaines caractéristiques des molécules soient maintenues — ici pour l'une, les trois groupes nitro ou leurs analogues et pour l'autre, le système de cycles aromatiques.

Dans l'exemple II, l'un des composants reste inchangé et les molécules des autres ont entre elles certaines analogies de structure. Bien qu'elles puissent présenter d'autres différences, la principale est souvent la longueur moléculaire, les différentes molécules étant reliées entre elles comme les membres d'une série homologue. Dans ces cristaux, la charpente de l'un des composants laisse vides une série de canaux parallèles, approximativement cylindriques, où se disposent dans le sens longitudinal les molécules allongées en bâton, du second composant.

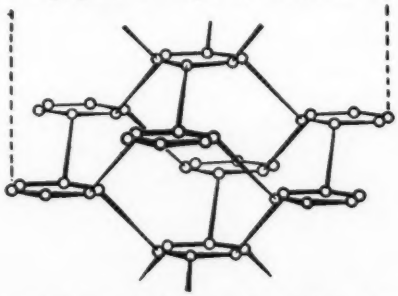
Cette disposition explique trois facteurs importants: (1) la structure de la charpente de la combinaison n'est pas en général la même que celle du composant qui la fournit, lorsqu'il cristallise isolément; si bien qu'on ne peut d'aucune façon directe, déduire de l'examen de la structure des composants à l'état pur, quelles sont les substances susceptibles de former ces combinaisons. (2) La structure et les dimensions des canaux ne subissant que des variations négligeables, le second composant doit se trouver parmi les substances dont les molécules peuvent s'insérer dans l'espace disponible. C'est ainsi que les molécules des paraffines normales s'insèrent dans les canaux formés par les molécules de l'urée, mais les isomères à ramifications ne peuvent entrer dans la même combinaison

car leurs excroissances ne peuvent trouver place dans les canaux. (3) La composition de la combinaison obtenue dépend de la longueur de la molécule allongée qui doit s'insérer dans l'espace cylindrique. Généralement le nombre des molécules dans les canaux est inversement proportionnel à leur longueur, comme on s'en aperçoit dans les combinaisons de dinitrodiphényle, et il n'est pas nécessaire qu'il existe un rapport simple entre le nombre des molécules dans les canaux et le nombre de molécules nécessaires à la formation de la charpente. C'est ce qu'illustre la série urée-hydrocarbures.

FIGURE 1 – *Mode de liaison par l'hydrogène des molécules d'hydroquinone.*



(a) *En représentation plane, chaque hexagone régulier indique 6 liaisons hydrogène entre atomes d'oxygène. Les hexagones sur des plans différents sont représentés par des lignes d'épaisseurs différentes. Les lignes fléchées représentant l'axe O—O d'une molécule d'hydroquinone, montrent comment les liaisons s'établissent pour former le système infini de cages tri-dimensionnel. Chaque flèche est dirigée de l'observateur vers le bas.*



(b) *Perspective correspondant au plan ci-dessus. Les hexagones indiquent les liaisons hydrogène. Les lignes longues reliant différents hexagones indiquent l'axe O—O de la molécule d'hydroquinone. La structure complète telle qu'elle se trouve dans la combinaison moléculaire comprend le système de cage représenté, entremêlé d'un second système identique, déplacé verticalement à mi-chemin entre les hexagones du haut et ceux du bas.*

Dans le cas des combinaisons de type III, l'un des composants reste inchangé et la possibilité de modification de l'autre ne dépend pas d'analogies chimiques mais de questions de dimensions moléculaires. Ce ne sont pas les membres de séries homologues qui s'échangent, mais cela peut arriver pour des molécules de dimensions similaires. Ainsi, dans la série des combinaisons de l'hydroquinone donnée sur le tableau, on trouve comme éléments du second composant les substances de structure chimique très différentes que sont: l'hydrogène sulfuré, l'anhydride sulfureux, le méthanol, l'acétylène, le gaz carbonique, l'acide formique et l'argon; tandis qu'on ne peut obtenir de combinaisons semblables avec la résorcine, isomère de l'hydroquinone, et l'hydrogène sulfuré ne peut être remplacé par de l'eau, ni le méthanol par l'éthanol ni l'argon par l'hélium.

Les recherches sur la structure révèlent que dans ces combinaisons les molécules d'hydroquinone forment une charpente où le second composant s'encastre dans des cavités de dimension réduite. Dans ces combinaisons, que l'on nomme «clathrates», chaque molécule du second composant s'insère dans une cage moléculaire distincte d'où elle ne peut s'échapper. Le mode d'encastrement se voit sur les schémas 2 et 3.

Une étude de structure permet de dégager les points suivants:

(1) La ténacité avec laquelle le composant volatil est retenu en association moléculaire avec

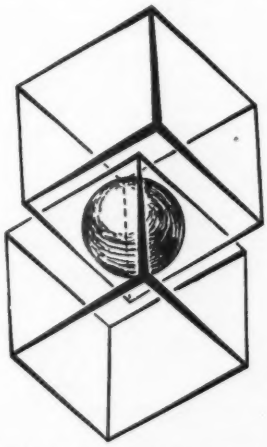
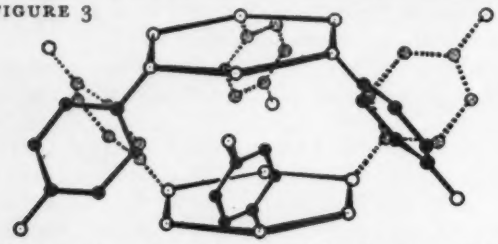
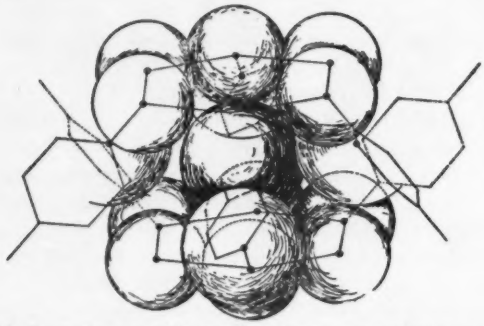


FIGURE 2 – *Représentation schématique de l'encerclement. La molécule encerclée est représentée par une sphère emprisonnée par deux cages entremêlées. Chaque bord de la cage peut être considéré comme contenant une molécule d'hydroquinone, et la structure véritable n'est pas le système limité de cages que l'on voit, mais le dessin illimité obtenu en prolongeant les bords pour former un réseau de cages semblables.*

FIGURE 3



(a) *On voit en perspective la position des six molécules d'hydroquinone, qui forment les alentours immédiats d'un atome d'argon. Cela fait illusion parce que l'on voit le centre des atomes et que l'on ne peut représenter en même temps l'espace occupé par ces derniers.*



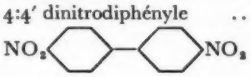
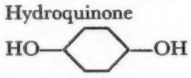
(b) *Les espaces occupés par les atomes sont indiqués sur un dessin à la même échelle que ci-dessus. On ne représente que quelques-uns des atomes encerclant l'atome central d'argon. On les distingue de ceux qui ont été omis, par un petit cercle autour de leur centre. Les pointillés servent à indiquer qu'une partie de la structure ainsi représentée se trouve derrière une portion dessinée au trait plein.*

l'hydroquinone ne s'explique pas par une attraction mutuelle. C'est particulièrement frappant dans la combinaison avec l'argon. L'attraction de Van der Waals entre argon et résorcine, ne provoque pas de combinaison moléculaire et l'on ne doit pas s'attendre à autre chose si l'on remplace la résorcine par son isomère l'hydroquinone. Cependant, la combinaison cristallisée avec les cristaux d'argon ne présente qu'une pression négligeable de vapeur d'argon et peut se conserver longtemps inaltérée. On attribue cela à un emprisonnement par des cages moléculaires où sont encastrés les atomes d'argon. Comme le montre la figure 3, chaque atome est enfermé hermétiquement au milieu des molécules environnantes d'hydroquinone, elles-mêmes maintenues ensemble par d'assez solides liaisons hydrogène. Pour se libérer de cette enceinte, il faut que l'atome passe par une ouverture dont le centre est à une distance de la cage d'atomes environnants bien plus courte que la distance Van der Waals d'équilibre entre les atomes non liés chimiquement. En s'approchant de ce centre, l'atome subira les forces de répulsion réciproques qui se développent lorsque deux atomes quelconques sont suffisamment rapprochés. Ces forces que révèle l'incompressibilité relative des liquides et solides moléculaires, prennent une intensité de plus en plus grande à mesure que la distance interatomique décroît et devient inférieure à la valeur d'équilibre et comme la cage est maintenue par des forces puissantes, l'atome sera repoussé. Il existera toujours entre les composants encerclant et encerclé d'une telle combinaison moléculaire, une attraction quelconque due aux forces Van der Waals ou autres, et elle peut jouer un grand rôle pour amener les molécules à la position correcte d'insertion lorsque le cristal se forme, mais une fois que l'atome ou la molécule est encerclé, il ne lui suffit pas pour s'échapper de surmonter cette attraction.

(2) Le composant volatil sera libéré par les opérations qui détruisent la structure cage. Ainsi l'argon est libéré lorsque l'on chauffe la combinaison hydroquinone-argon à des températures où les molécules d'hydroquinone brisent leurs liaisons hydrogène et se volatilisent. Le gaz est libéré aussi par dissolution de la combinaison dans un solvant quelconque de l'hydroquinone.

(3) C'est par des caractéristiques géométriques plutôt que chimiques que la formation de la combinaison est limitée à des couples isolés de molécules. Ainsi, on voit sur la figure 1 les six groupes —OH de six molécules distinctes d'hydroquinone en forme d'hexagone, les liaisons O—C dirigées alternativement vers le haut ou vers le bas des hexagones de telle façon qu'elles font à peu près l'angle tétraédrique avec les liaisons hydrogène, ainsi que cela se passe d'habitude. Si l'on amène les groupes —OH éloignés des 6 groupes ci-dessus à former une figure géométriquement équivalente, ils entrent à leur tour dans la composition d'autres hexagones à liaisons hydrogène et l'on aboutit à la molécule géante qui, en s'interpénétrant avec la molécule jumelle, forme la cage des combinaisons moléculaires. La substitution de l'isomère résorcine, où les groupes —OH occupent dans la molécule des positions relatives différentes est un changement radical géométriquement incompatible avec les nécessités précédentes. Cette molécule ne peut donc remplacer l'hydroquinone; on peut cependant supposer qu'elle puisse former des combinaisons analogues d'une structure géométrique différente.

Etant donné que la forme des cavités est fixée d'avance, sauf des variations secondaires, seules

	Composant A	*Composant B*	*Composition de la combinaison moléculaire*
I	Combinaisons aromatiques polynitriques comme le *s*-trinitrobenzène (1)	Hydrocarbures aromatiques et leurs dérivés, ex. naphtalène ou aniline	Fréquemment A.B., mais on connaît aussi d'autres rapports simples.
II	4:4′ dinitrodiphényle .. (2) 	Diphényles 4:4′ substitués	A_n.B *n* croît avec la longueur de la molécule B. Pour B = 4:4′-diacétoxydiphényle $n = 5$; pour les autres $n = 4$, $3\frac{1}{2}$, 3 suivant la longueur moléculaire.
	Acide désoxycholique .. (3)	Acides gras, paraffines normales et autres corps	A_n.B. $n = 1, 3, 4, 6$ ou 8, croissant avec la longueur de la molécule d'acide gras.
	Urée .. .. .. (4)	Paraffines normales, acides carboxyliques, alcools, éthers, etc.	A_n.B. *n* n'est en général pas entier; sa valeur est de 4 et au-delà et croît avec la longueur de la molécule B.
III	Hydroquinone (5) 	MeOH, MeCN	A_3.B
	Hydroquinone	H_2S, SO_2, HCl, HBr, HCN, CO_2, C_2H_2, A, Kr, Xe	Approximativement A_3B, mais avec B en moindre quantité que ne l'exigerait cette formule et en proportions variables.
	Structure complexe de la combinaison $Ni(CN)_2.NH_3$ (6)	Benzène, thiophène et quelques molécules semblables, mais non les homologues	A.B

sont susceptibles d'être encerclées les molécules qui peuvent s'adapter à l'espace disponible (forme et dimensions) et qui sont assez grandes pour ne pas s'évader par les trous. Dans le cas de l'hydroquinone, la molécule de méthanol est englobée, mais celle d'éthanol est trop grande et celle d'eau trop petite. L'argon est englobé, mais l'atome d'hélium dont on connaît l'aptitude à pénétrer par les petits orifices, ne donne pas lieu à une combinaison analogue.

(4) Il existe une composition limite déterminée par le rapport du nombre de molécules emprisonnantes au nombre de cavités. Le deuxième composant peut être présent en quantité moindre que le maximum possible s'il y a des cavités inoccupées. Dans le cas des combinaisons de l'hydroquinone du type β, lorsque la combinaison s'obtient par simple cristallisation, en utilisant comme solvant le second composant, le méthanol ou l'acétonitrile par exemple, presque toutes les cavités sont occupées, et la formule idéale 3 hydroquinone/M est atteinte. Quand il faut pour réunir les deux composants utiliser un solvant indifférent, un nombre d'espaces considérable peut rester vide. On l'observe pour les combinaisons avec l'hydrogène sulfuré, l'anhydride sulfureux et l'acide bromhydrique. Puisqu'il est aussi difficile de faire entrer une molécule dans une cavité vide déjà formée que de la faire sortir de celle qu'elle occupe, ces vides, une fois formés, sont conservés; leur nombre relatif est déterminé par les facteurs (tels que la concentration de la solution en composant volatil) qui influent sur la probabilité pour ces molécules d'être prêtes à l'encerclement au moment où se forme la cage. Certaines combinaisons se forment donc par cristallisation de solutions d'hydroquinone où l'on augmente sous pression la concentration du gaz dissout.

On arrive à la solution de plusieurs problèmes grâce à la connaissance de la nature des combinaisons moléculaires et diverses possibilités d'utilisation sont évidentes.

Il arrive qu'une combinaison moléculaire soit prise pour l'un de ses composants. Ainsi le corps appelé d'abord hydroquinone β, variété allotropique supposée de l'hydroquinone, obtenue par

cristallisation dans le méthanol, se révèle être la combinaison avec le méthanol appartenant à la série «clathrate» mentionnée plus haut. La combinaison méthanol a des caractéristiques si dissimulées qu'elle a survécu à de nombreuses recherches jusqu'à une époque récente. La difficulté de détection peut s'accroître du fait de rapports moléculaires insolites, ou d'une quantité trop petite de l'un des composants. L'analyse élémentaire pourrait être vaine dans les cas particuliers où les constituants sont de composition semblable et du moment que la combinaison moléculaire se décompose en solution, ses réactions peuvent ressembler absolument à celles du composant avec lequel on le confond. Si l'autre constituant est le solvant utilisé, l'illusion est complète.

Cependant, il est plus fréquent qu'un corps dont la constitution ne semble plus douteuse, par ailleurs donne des résultats analytiques inattendus en raison de cette combinaison avec le solvant.

Ces combinaisons trouvent leur utilisation dans des procédés de purification, de séparation, d'identification, de dosage quantitatif. Au cours de la purification d'un corps par certaines méthodes on rencontre des difficultés dues à la présence d'impuretés de solubilité ou de volatilité identiques, et à ce stade essentiel il y a lieu d'appliquer un mode de séparation basé sur une propriété différente. Il peut y avoir de telles différences de dimension et de forme moléculaire que grâce à elles la séparation peut être aussi parfaite que celle basée à un stade antérieur sur quelque importante différence chimique. Le cas des combinaisons urée-hydrocarbures mentionnées précédemment illustre les comportements différents d'isomères à chaîne droite et ramifiée. Dans des cristaux contenant dans des canaux des molécules allongées, il se peut que les différents termes d'une série en chaîne (droite) ne soient pas séparables, mais dans les «clathrates» où sont occupées des cavités fermées de dimensions fixes, l'action est fortement sélective. L'hydroquinone forme une combinaison de cette espèce avec le méthanol, qui est le seul alcool dont la molécule est d'une dimension adaptable à l'espace disponible.

Il se peut que l'association de deux corps à l'exclusion de toute combinaison chimique, au sens ordinaire du terme, soit commune dans la nature. Il y a dans certaines de ces structures un exemple clair de spécificité en même temps que d'emboîtement l'un dans l'autre de deux composants moléculaires, qui peuvent servir de modèles aux arrangements moléculaires bien plus complexes de la matière vivante.

BIBLIOGRAPHIE

GIACOMELLO. *Atti R. Accad. Lincei*, **27**, 101, 1938; *Gazz. Chim. Ital.*, **69**, 790, 1939.
GO et KRATKY. *Z. physikal Chem.*, B, **26**, 439, 1934.
PALIN et POWELL. *J. Chem. Soc.*, 208, 1947; 571 et 817, 1948.
PFEIFFER, P. «Organische Molekülverbindungen». Stuttgart, 1927.
POWELL. *J. Chem. Soc.*, 61, 1948; 298 et 468, 1950.
POWELL et RAYNER. *Nature*, **163**, 566, 1949.
RAPSON, W. S., SAUNDER, D. H., et STEWART, E. T. *J. Chem. Soc.*, 1110, 1946.
RHEINBOLT. *Liebig's Ann.*, **451**, 256, 1927.
SCHLENK, W. *Ibid.* **565**, 204, 1949.
WÖHLER. *Ibid.* **69**, 297, 1849.

Revue des livres

BIBLIOGRAPHIE

A List of British Scientific Publications Reporting Original Work or Critical Reviews. Pp. 95. Publiée pour la Royal Society par Cambridge University Press, Londres. 1950. 2s. 6d.

A la Conférence d'information scientifique de la *Royal Society* tenue en 1948, il fut remarqué par de nombreux délégués combien il serait utile d'avoir une liste des revues scientifiques publiées en Grande Bretagne comprenant une quantité substantielle de travaux originaux ou d'études critiques. Cette publication est le résultat de ces recommandations. Elle ne prétend pas être complète mais elle donne la liste de quelque 220 revues, donnant pour chacune une brève description de son contenu et des détails comme la fréquence de publication, le numéro de volume actuel, la taille approximative, si elle contient des résumés d'articles, accepte des réclames, où et comment obtenir les directives nécessaires aux auteurs, son prix, l'adresse de la rédaction et du bureau de publication.

BIOLOGIE

SEXTON, W. A. *Chemical Constitution and Biological Activity.* Avec un avant-propos de M. le Professeur A. R. Todd. Pp. 434, avec 42 figures et 58 tables. E. and F. N. Spon Limited, Londres. 1949. 55s.

L'accroissement rapide de notre connaissance chimique des produits biologiques permet maintenant d'envisager de façon plus générale les problèmes de chimiothérapie. Dans ce volume le Dr Sexton a réuni un véritable trésor d'information sur l'activité biologique des substances chimiques et étudie en détail les relations entre constitution chimique et réponse biologique. Le livre est divisé en deux parties. Les cinq premiers chapitres donnent un

aperçu général des principes scientifiques fondamentaux intéressés qui comprend une revue des protéines, des enzymes, des macromolécules à importance biologique, de l'aspect physique de la chimie du développement des bactéries, etc. Les seize autres chapitres relatent en détail l'action des nombreux produits que l'on utilise en chimiothérapie et comprennent même une étude sur les insecticides et les agents régulateurs de la croissance végétale. Le lecteur non averti sera captivé et profondément surpris par l'importance du travail minutieux qui a déjà été accompli dans ce domaine. Le chercheur trouvera indispensables toutes ces tables, ces résumés et ces références. Des résultats spectaculaires ont déjà été atteints en grand nombre comme par exemple les produits aux sulfamides, la Pénicilline, la Paludrine et l'Antrycide et l'on a pu établir des relations certaines entre structure et activité à l'intérieur de certains groupes. Mais l'impression générale que l'on retire de cette étude complète et bien équilibrée du Dr Sexton sur un sujet d'importance vitale, est que des recherches encore plus poussées sont nécessaires en biologie comme en chimie avant que l'on puisse comprendre à fond les moyens d'action des agents chimiothérapeutiques.

E. L. HIRST

CHIMIE

ADAMS, ROGER, et collaborateurs. *Organic Reactions*, vol. IV. Pp. 428. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1948. 36s.

Ce manuel, le dernier paru d'une série bien connue, suit l'exemple de ses prédécesseurs. L'exposé de la réaction Diels-Alder avec ses nombreuses variantes, occupe plus de 170 pages et offre le résumé le plus complet qui en ait jamais été fait. Cette étude tient compte de son mécanisme, de sa reversibilité, de sa sélectivité stéréochimique, de ses réactions secondaires, de ses limites et anomalies sans oublier la remarquable perte de soufre due au dinaphtylènethiophène. Elle insiste sur l'éclaircissement apporté ainsi au mécanisme de la polymérisation.

On y trouve aussi un exposé de la préparation des amines à partir de l'ammoniaque et d'un aldéhyde ou cétone avec un agent réducteur, nickel de Raney compris. La formation intermédiaire possible d'une base de Schiff dans la réaction catalysée par le nickel ou des oxydes métalliques est envisagée, de même la formation de sous-produits comme les bases de pyridine. Les chapitres sur les analogues de la benzoïne contiennent une étude théorique utile sur la formation d'acyloïnes à partir d'éthers ou de chlorures acides et de sodium. Au cours de l'étude de l'utilisation de l'hydrazine dans la réduction des groupes carbonyle, distinction est faite entre la réaction Wolff et celle de Kishner que l'auteur compare critiquement à la réaction Clemmensen. La réduction catalytique des chlorures acides et la formation de quinones par oxydation reçoivent aussi grande attention. Les tables d'information sur les composés qui subissent ces réactions ou sont preparés par elles, occupent 40 pour cent de l'ouvrage.

FREDERICK CHALLENGER

HONEYMAN, JOHN. *An Introduction to the Chemistry of Carbohydrates*. Pp. 143, avec des diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1948. 15s.

Le Dr Honeyman a réussi à produire là un manuel intéressant sur la chimie des hydrates de carbone. Il a traité son sujet de façon logique; l'étude des monosaccharides est satisfaisante et on trouve au chapitre XI une section utile sur les dérivés de la cellulose. Il semble cependant que le chapitre IX soit trop court pour être de valeur réelle et que les travaux importants de synthèse de Burkhardt Helferich auraient pu figurer au chapitre X. La formule donnée à l'inuline (p. 133) paraît malheureuse puisque le lien β est le plus vraisemblable pour ce polysaccharide; il faudrait aussi corriger cette erreur sur l'acide alginique selon laquelle il serait extrait des algues marines par de l'hydroxyde de soude.

On doit aussi constater que le système employé pour les références n'est pas toujours consistant car un étudiant recherchant les articles originaux sur la détermination des groupes finaux sous le nom de Haworth (1928) ne les y trouvera pas, puisque ces travaux ne furent pas effectués avant 1932; on se demande de toute façon si beaucoup d'étudiants d'Université auront le temps d'étudier les résumés comme le leur conseille la préface. A part ces quelques petits défauts, on peut recommander ce livre vivement.

E. G. V. PERCIVAL

HUNTRESS, E. H. *The Preparation, Properties, Chemical Behaviour, and Identification of Organic Compounds. Tables of Data on Selected Compounds of Order III.* Pp. xxv + 1443. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1948. 165s.

Ce volume traite en détail de quelque treize cents composés contenant soit du carbone et du chlore; soit du carbone, de l'oxygène et du chlore; ou du carbone, de l'hydrogène et du chlore; ou du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et du chlore. Il diffère notablement du volume précédent, publié en collaboration avec le regretté Professeur S. P. Mulliken car, bien que suivant la méthode générale de classification des composés, il ne se limite aucunement aux problèmes d'identification mais expose des méthodes de préparation, des propriétés physiques et traite de comportement chimique en général. On y a trouve plus de vingt mille références à des ouvrages divers et en raison de la nouveauté d'un nombre appréciable de composés, l'ouvrage pourra bien servir de supplément à Beilstein dans ces cas-là. Des références de brevets sont aussi indiquées et pour cette raison entre autres, il sera d'un intérêt spécial dans l'industrie. Le premier chapitre contient une explication détaillée de la méthode de classification employée, un indexe de formules et un autre de termes aideront le lecteur ainsi qu'un troisième basé sur les types chimiques. Dans un ouvrage de références de cette sorte beaucoup dépend de l'exactitude, de la mise au point et de la présentation systématique. On a tout lieu de croire que M. le Professeur Huntress a eu ce triple but constamment dans l'esprit pour mener à bien cette tâche formidable mais des plus utiles.

H. J. EMELÉUS

JAFFE, BERNARD. *Crucibles: the Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission* (Creusets: histoire de la chimie depuis l'ancienne alchimie jusqu'à la fission nucléaire). 2ème édition anglaise. Pp. xiv + 480. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1949. 18s.

Les grands progrès réalisés en chimie depuis la première édition anglaise de ce livre en 1931 ont conduit à une révision totale du dernier chapitre de l'œuvre originale et à l'addition de trois nouveaux chapitres: «Ernest Orlando Lawrence», «Les dompteurs de la fission nucléaire» et «L'énergie nucléaire de demain». Le travail en équipe a eu un si grand rôle dans les problèmes complexes de la chimie sous-atomique que l'auteur a dû, dans ses

derniers chapitres, renoncer à son habitude de mettre en relief telle ou telle personalité comme étant typique d'une certaine période scientifique. La partie nouvelle du livre dépeint avec réalité les merveilles du monde sous-atomique ainsi que l'énergie et l'ingéniosité sans limites de l'homme dans une œuvre qui pourra lui être fatale s'il continue à accroître son savoir aux dépens de la moralité. En partant de l'alchimie — traitée superficiellement — nous avons là un récit qui se déroule à un rythme toujours croissant sur un ton plein d'enthousiasme. La seconde partie du livre est de beaucoup la meilleure, offrant comme elle le fait un exposé facile à lire du rôle dominant joué par les physiciens américains dans les dernières étapes de la chimie sous-atomique grâce à leurs ressources expérimentales extraordinaires. En dépit de quelques erreurs regrettables, cet ouvrage humain et vivant dépeint la marche en avant de la chimie avec une ardeur vibrante bien digne de son titre.

JOHN READ

SNYDER, H. R., rédacteur-en-chef. *Organic Syntheses*, vol. 28. Pp. 121, avec plusieurs illustrations linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 15s.

Ce volume de «Synthèses organiques» contient des instructions détaillées sur la préparation d'un certain nombre de composés organiques. Les indications sont d'une précision bien plus grande que ce que l'on trouve d'ordinaire dans des publications originales souvent condensées à tel point que le profane éprouve de la difficulté à les refaire. Les exposés décevants de nombreuses préparations indiquées dans des revues de chimie ne le sont pas toujours par leur brièveté; souvent les rendements sont omis, les températures et les durées de réaction dissimulées par des expressions telles que «chauffé pendant quelques minutes» ou la réaction doit être effectuée «comme de coutume». L'expérience prouve que les réactions exposées dans ce livre se passent comme il est annoncé et que le produit final est du rendement et de la pureté anticipés. Il y a de nombreuses notes supplémentaires, références à la littérature originale et mention de méthodes alternatives de préparations.

W. BAKER

INDUSTRIE CHIMIQUE

BARRON, H. *Modern Synthetic Rubber*. 3ème édition. Pp. xx + 636. Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 45s.

Ce livre est indéniablement intéressant mais on se demande si l'auteur a voulu y être à demi vulgarisateur ou auteur de manuel sérieux. En fait, le livre se place entre ces deux extrêmes. Il est basé sur ce que l'auteur appelle un «système aisé» mais ce système est en réalité complexe et peu nécessaire. Donner à un caoutchouc artificiel le nom de caoutchouc synthétique est beaucoup plus proche de la vérité que d'appeler des matières plastiques dures comme le chlorure polyvinyle ou le polythène «produits élastiques synthétiques». On se demande s'il valait la peine d'introduire dans un livre sur les caoutchoucs synthétiques, des plastiques que l'on peut rendre élastiques jusqu'à un certain point par la plasticisation. Cette édition représente certainement un gros progrès sur les précédentes mais on attend la quatrième avec impatience pour éliminer les quelques erreurs qui persistent, comme la résistance du polythène aux rayons ultra-violets, le fait que le caoutchouc soit le transisomère du poly-isoprène et d'autres similaires.

W. J. S. NAUNTON

DEERR, NOEL. *The History of Sugar* (L'histoire du sucre), vol. 1. Pp. 258, avec vingt planches, 6 figures et 8 cartes dans le texte; vol. 2. Pp. 259–636, avec 11 planches et 42 figures dans le texte. Chapman and Hall Limited, Londres. 1949 et 1950. 50s. et 55s.

Voici une étude historique minutieuse des nombreux aspects de l'industrie sucrière. L'auteur a fait des recherches consciencieuses dans des bibliothèques, des journaux domestiques, des publications depuis longtemps oubliées et autres sources peu connues qui ont livré de nouveaux matériaux de valeur et d'exquises illustrations. On nous montre d'abord l'homme préhistorique en quête de miel et les nombreuses sources de sucre présentes dans la nature, mais le thème principal du premier volume est la production du sucre de canne.

Quatorze chapitres en tout traitent de l'installation et du développement de l'industrie dans diverses régions du globe. On les lit agréablement, parce qu'on y sent le plaisir secret que les travaux d'érudition ont donné à l'auteur. Ceci devient encore plus évident au volume 2 où, contre son gré, il traite longuement de l'esclavage. Car, ainsi que le prouvent indiscutablement les faits, le développement de la production sucrière a été intimement lié depuis toujours à l'extension de l'esclavage industriel et ceci jusqu'à un temps relativement récent et familier à la plupart des esprits. Trois chapitres traitent de ce sujet absorbant mais pénible. Pour ceux qui aiment l'évocation de la vie des planteurs d'autrefois, il y a un exposé très intéressant intitulé: «La Plantation et le Planteur». La question de l'émancipation des esclaves est aussi traitée en trois chapitres avec les progrès qui suivirent; un autre est consacré à la «traite des noirs» qui subsista presque jusqu'à nos jours. Ailleurs, on trouve le commerce du sucre, les droits, le raffinage, les prix, etc. Une place considérable est laissée à l'industrie de la betterave sucrière et aux autres sources moins importantes de sucre. Dans l'ordre technique, on remarque un chapitre condensé mais de valeur et bien illustré sur les progrés dus à l'invention et à la recherche.

C. W. WARDLAW

MÉTALLURGIE

CHALMERS, BRUCE, rédacteur. *Progress in Metal Physics*. Pp. 401. Butterworth's Scientific Publications, Londres. 45s.

Le but de ce volume est, comme nous l'explique son rédacteur, de «présenter une revue experte de l'état de nos connaissances dans certains aspects spécialisés du champ commun à la métallurgie physique et à la physique des métaux». Cette première série comprend sept revues et il est prévu de garder l'ouvrage à jour par la publication d'articles futurs relatant des progrès plus récents. Etant les premiers de la série, ils comprennent également la mise au point historique nécessaire.

Sans critiquer les auteurs d'articles, on peut dire que l'ouvrage donne une impression profonde d'effrayante complexité. Il y a un contraste immense entre la simplicité extrême d'un cristal parfait de métal pur dont les physiciens atomiques nous donnent une explication presque complète et la complexité de comportement qui survient lorsque la symétrie idéale est rompue. S'il s'agit d'alliages et de solutions solides, la complexité est accrue presque à l'infini. Il nous reste à attendre le génie capable d'organiser ces faits et de nous donner la clé de ce labyrinthe de théories à unifier et à simplifier. L'étude de la théorie des alliages est la plus satisfaisante, ou plus exactement, la moins décevante à ce point de vue. On commence à y voir les morceaux du jeu de patience s'assembler, et pour la première fois la connaissance de la

structure atomique alliée à celle de la théorie des quanta permet d'augurer de l'avenir de la chimie des métaux. Dans les chapitres sur la théorie de la dislocation et des limites des cristaux ainsi que de leurs effets sur le glissement, le cheminement, le durcissement et la fracture, on tâtonne encore dans l'obscurité. Les progrès dépendent d'une compréhension beaucoup plus profonde du nombre et de la disposition des dislocations, unités par lesquelles on essaie de définir le départ de la forme cristalline pure et dont les déplacements nous permettent d'expliquer la coulée du métal. Jusqu'à ce que leur nature physique soit mieux connue, une telle théorie mathématique ne sert malheureusement qu'à couvrir la nudité d'une intuition purement arbitraire. Le technologiste a encore à attendre patiemment les progrès de la science pure qui un jour lui servira de guide.

Nous devons être reconnaissants aux auteurs de la patience et de l'habileté dont ils se sont munis pour entreprendre la tâche de nous présenter la physique des métaux sous sa forme actuelle. Son importance dans l'industrie est véritablement très grande et il faut encourager les travaux afin que nous restions au premier plan des progrès. Dans cette revue, le chercheur trouvera des références à tous les travaux de valeur qui ont été faits récemment mais dispersés dans de nombreuses publications depuis, et il en retirera très grand profit.

W. L. BRAGG

PHYSIQUE

HENISCH, H. K. *Metal Rectifiers* (Redresseurs métalliques). Pp. xi + 155 et 55 figures. Oxford University Press, Londres. 1949. 15s.

Cette monographie se propose d'offrir au nouvel initié une introduction critique aus redresseurs métalliques en pratique et en théorie ainsi qu'un guide parmi l'importante littérature sur le sujet en vue d'études plus poussées. En se conformant strictement à la règle de discuter clairement mais brièvement chaque aspect du sujet et de laisser les détails à la vaste bibliographie, l'auteur a rencontré le succès.

Du côté théorique, seules les idées générales et lignes d'attaque pouvaient être indiquées et l'auteur a su condenser sans rien perdre de la clarté.

Du côté expérimental, par contre, le chapitre sur les mesures n'est pas du niveau du reste de l'ouvrage et n'offre ni une étude suffisante des procédés, ni une bibliographie assez complète.

Les méthodes de préparation et les propriétés des redresseurs métalliques sont étudiées très en détail et l'on espère dans les éditions à venir, trouver des références complémentaires sur les redresseurs à sélénium et à sulfure.

S. W. H. W. FALLOON

MARTIN, THOMAS. *Faraday's Discovery of Electro-magnetic Induction.* Pp. 160, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Edward Arnold and Co., Londres. 1949. 9s.

M. Martin s'est déjà acquitté avec patience et dévotion de la tâche d'éditeur du journal de Faraday; cela nous dispense de nous attarder longuement sur la valeur de son dernier livre qui relate les travaux de Faraday grâce auxquels l'induction électromagnétique fut découverte, dans tous leurs détails captivants et avec plus de cinquante reproductions en fac-similé des propres esquisses à main levée de Faraday.

L'auteur insiste sur l'importance des premières expériences de notre chercheur dans ce domaine en 1821, et ses études sur l'œuvre des autres entre 1821 et 1831 — période où il s'occupa surtout d'autres questions. En 1831 il revint à ses recherches d'électricité sans être interrompu par la suite. Puis vinrent les découvertes rapides, depuis l'expérience de l'anneau le 29 août jusqu'à la production le 17 octobre d'un courant induit par le mouvement d'un aimant dans une bobine de fil de cuivre, et ainsi de suite jusqu'à la production de courants continus induits, de courants induits par le magnétisme de la terre et de l'«étincelle magnéto-électrique».

Cet excellent exposé de la suite des pensées et des expériences de Faraday contribue grandement à nous faire comprendre l'esprit et le génie de ce grand maître.

D. MCKIE

SCIENCE GÉNÉRALE

COHEN, BERNARD I. *Science, Servant of Man. A Layman's Primer for the Age of Science* (La Science au service de l'homme. Guide du profane dans l'ère scientifique). Sigma Press, Londres. 1949. 15s.

Voici un livre de valeur, écrit pour le profane mais qui offre matière à réflexion au chercheur scientifique. Son but est d'étudier les conditions dans lesquelles se font les découvertes scientifiques d'importance pratique et il traite ce problème délicat avec bon sens et clarté. Les divers types de découvertes scientifiques sont passés en revue et il apparaît clairement qu'aucune description unique ne peut prétendre les comprendre tous, ni même leur majorité. Certaines sont d'heureux accidents exploités par un esprit curieux et réceptif, d'autres sont de sous-produits de recherches faites dans des buts tout à fait différents, d'autres encore les résultats de recherches sérieusement organisées, d'autres enfin l'utilisation de principes découverts de nombreuses années auparavant à une époque où on ne savait pas les utiliser. Une grande partie du livre consiste en descriptions de divers exemples tels que ceux de la Pénicilline, du caoutchouc synthétique et du Nylon, du blé hybride et autres similaires: elles semblent bien faites et exactes. Etudiant la méthode capable de tirer le maximum de résultats de la science, M. Cohen se déclare ouvertement contre les enthousiastes de la recherche organisée et cite à son appui le Dr Oliver E. Buckley selon qui «Tous les directeurs industriels prospères savent d'expérience que l'une des choses qu'un *directeur de recherche* ne doit jamais faire est de diriger la recherche».

F. SHERWOOD TAYLOR

DINGLE, HERBERT. *Science and Literary Criticism.* Pp. 184. T. Nelson and Sons, Edimbourg. 1949. 7s. 6d.

M. le Professeur Dingle, le distingué titulaire de la chaire d'Histoire et de Philosophie scientifiques de l'Université de Londres, se demande s'il est possible de concevoir une forme de critique littéraire qui serait vraiment scientifique — c'est-à-dire basée sur des principes objectifs et des références impersonnelles. Une étude à raisonnement serré de la question le conduit à admettre la possibilité d'une telle science de la critique mais à douter qu'elle existe jamais. Il revendique pourtant l'importance d'un entraînement à la méthode scientifique pour préserver le critique de certaines erreurs et pour donner un exemple de l'attitude que cela engendre, il nous offre certaines analyses personnelles, une sur Wordsworth en particulier.

Le but de Wordsworth était d'arriver à une extase mystique de sentiment où la raison ni autre activité intellectuelle n'aient de place. Il avait un mépris ouvertement proclamé pour la philosophie des écoles et leurs essais d'unification intellectuelle du cosmos.

E. T. WHITTAKER

Livres reçus

AGRICULTURE

PURI, A. W. *Soils — Their Physics and Chemistry* (Aspects physiques et chimiques des sols). Pp. 550, avec plusieurs diagrammes linéaires. Reinhold Publishing Company, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 56s.

ASTRONOMIE

ALFVÉN, H. *Cosmical Electro-Dynamics*. Pp. 237, avec divers diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 25s.

BIOLOGIE

MURRAY, P. D. F. *Biology*. Pp. 600, avec de nombreux dessins linéaires et en demi-teintes. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 25s.

MINER, ROY WALDO, rédacteur-en-chef. GORDON, MYRON, sous-rédacteur. *The Biology of Melanomas* (Biologie des mélanomes). Pp. 466, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. New York Academy of Sciences. 1948. $5.

PINCHER, CHAPMAN. *Evolution*. Pp.199, avec différents diagrammes linéaires. Herbert Jenkins Limited, Londres. 1950. 7s. 6d.

BOTANIQUE

CLEMENTS, FREDERIC E., et collaborateurs. *Adaptation and Origin in the Plant World* (Adaptation et origine dans le monde végétal). Pp. 332, avec de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., E.U.

CRAFTS, A. S., et collaborateurs. *Water in the Physiology of Plants* (L'eau dans la physiologie des plantes). Pp. 240, avec plusieurs diagrammes linéaires. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass., E.U.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1949. $6.

CARTOGRAPHIE

TROREY, LYLE G. *Aerial Mapping and Photogrammetry* (Cartographie aérienne et photogramétrie). Pp. 178, avec de nombreux diagrammes linéaires et en demi-teintes. Cambridge University Press, Londres. 1950. 25s.

CHIMIE

ADAMS, ROGER, rédacteur-en-chef. *Organic Reactions*, vol. v. Pp. 446. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 48s.

BOOTH, HAROLD SIMMONS, et MARTIN, DONALD RAY. *Boron Trifluoride and its Derivatives* (Le trifluorure de bore et ses dérivés). Pp. 315, avec plusieurs diagrammes linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York. Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 40s.

DURRANS, R. H. *Solvents*. Pp. 242. Chapman and Hall Limited, Londres. 1950. 21s.

KARRER, PAUL. *Organic Chemistry*. Quatrième édition anglaise. Pp. 983. Elsevier Publishing Company Limited, Amsterdam; Cleaver-Hume Press, Londres. 1950. 57s. 6d.

SIDGWICK, N. V. *The Chemical Elements and their Compounds*. Deux volumes. Pp. 1703. Oxford University Press, Londres. 1950. 70s.

SMITH, S. J. *Advanced Chemical Calculations*. Pp. 454. Macmillan and Company, Londres. 1950. 17s.

INDUSTRIE

EDWARDS, RONALD S. *Co-operative Industrial Research*. Pp. 285. Pitman and Sons Limited, Londres. 1950. 20s.

FLOSDORF, EARL W. *Freeze-Drying — Drying by Sublimation*. (Dessiccation par le gel et la sublimation). Pp. 280, avec de nombreuses illustrations linéaires et en demi-teintes. Reinhold Publishing Company, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 40s.

MÉDECINE

HARTRIDGE, HAMILTON. *Recent Advances in the Physiology of Vision*. Pp. 401, avec de nombreux diagrammes linéaires. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1950. 25s.

SPEARMAN, C., et JONES, LL. WYNN. *Human Ability* (Les possibilités de l'homme). Pp. 198. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 16s.

WINSLOW, C.-E. A., et HERRINGTON, L. P. *Temperature and Human Life* (Température et vie humaine). Pp. 272, avec divers diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1949. 28s.

OCÉANOGRAPHIE

COLMAN, JOHN S. *The Sea and its Mysteries* (Les mystères marins). Pp. 285, avec divers croquis et illustrations en demi-teintes. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 12s. 6d.

PHYSIQUE

BRIDGMAN, P. W. *The Physics of High Pressure* (Physique des pressions élevées). Pp. 445, avec de nombreuses demi-teintes et illustrations. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1950. 35s.

CHANDRASEKHAR, S. *Radiative Transfer*. Pp. 393, avec plusieurs diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 35s. net.

CURRAN, S. C., et CRAGGS, J. D. *Counting Tubes* (Compteurs des ions). Pp. 238, avec plusieurs diagrammes linéaires. Butterworth's Scientific Publications Limited, Londres. 1949. 35s.

JAKOB, MAX. *Heat Transfer* (Echange de chaleur), vol. I. Pp. 758, avec plusieurs diagrammes linéaires. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1949. 96s.

LANGMUIR, IRVING. *Phenomena, Atoms and Molecules*. Pp. 436, avec plusieurs diagrammes linéaires. Philosophical Library, New York. 1950. $10.

STANWORTH, J. E. *Physical Properties of Glass* (Propriétés physiques du verre). Pp. 224, avec des diagrammes linéaires. Oxford University Press, Londres. 1950. 21s.

SCIENCE GÉNÉRALE

CRAMMER, J. L., rédacteur. *Science News No.* 15. Pp. 192, avec des illustrations en demi-teintes et en couleurs. Penguin Books, Londres. 1950. 1s. 6d.

WIGHTMAN, W. P. D. *The Growth of Scientific Ideas* (Développement des idées scientifiques). Pp. 495, avec diverses figures et demi-teintes. Oliver and Boyd Limited, Edimbourg. 1950. 25s.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

FRY, D. W., et GOWARD, F. K. *Aerials for Centimetre Wavelengths* (Antennes pour longueurs d'ondes centimétriques). Pp. 172, avec de nombreux diagrammes linéaires. Cambridge University Press, Londres. 1950. 18s.

SHANNON, C. E., et WEAVER, W. *The Mathematical Theory of Communication*. Pp. 117. University of Illinois Press, E.U. 1949. $2,50.

ZOOLOGIE

BULLOUGH, W. S. *Practical Invertebrate Anatomy*. Pp. 463, avec des diagrammes linéaires. Macmillan and Company Limited, Londres. 1950. 28s.

GRASSÉ, PIERRE-P. *Traité de Zoologie*, vol. XV. Publié sous sa direction. Pp. 1164, avec de nombreuses figures et illustrations en demi-teintes. Masson et Cie, Paris. 1950. fr. 6.000